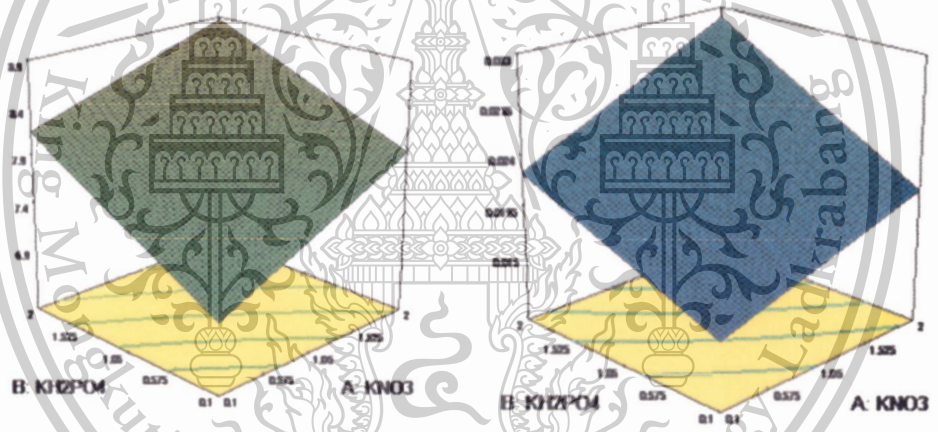
สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การหาสภาวะในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียว *Desmodesmus quadricauda* ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นแหล่งผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Optimization model for cultivation of green alga, *Desmodesmus quadricauda* as feedstock for biofuel production



King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

รศ. ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์
นายพัฒนศักดิ์ ชิวปรีชา

QCH
ส621ก
2558

สขทม.
เลขทะเบียน 140563
วัน เดือน ปี - 9 ก.พ. 2559

b 12740573
i

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2558
คณะเทคโนโลยีการเกษตร
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การหาสภาวะในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียว *Desmodesmus quadricauda* ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นแหล่งผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

Optimization model for cultivation of green alga, *Desmodesmus quadricauda* as feedstock for biofuel production

รศ. ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์

นายพัฒนศักดิ์ ชิวปรีชา

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2558

คณะเทคโนโลยีการเกษตร

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชื่อโครงการ การหาสภาวะในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียว *Desmodesmus quadricauda* ที่เหมาะสมเพื่อใช้เป็นแหล่งผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์
แหล่งเงิน เงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2558
ประจำปีงบประมาณ 2558 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 100,000 บาท
ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ตุลาคม 2557 ถึง 30 กันยายน 2558
หัวหน้าโครงการและผู้ร่วมโครงการวิจัย รศ. ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์
นายพัฒนศักดิ์ ชิวปรีชา
สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์และประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

การหาสภาวะในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียว *Desmodesmus quadricauda* ที่ เหมาะสมเพื่อใช้เป็นแหล่งผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยคัดกรองปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวล ผลผลิตคาร์โบไฮเดรต และผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย ทั้งหมด 7 ปัจจัยพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตที่ศึกษาและมีอิทธพลในทางบวก คือ KNO_3, KH_2PO_4, Fe, NaCl, light intensity และ carbondioxide อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* KMITL โดยใช้แผนการทดลอง CCD ที่ 6 ปัจจัย ได้สมการทำนายไขมัน ดังนี้ Y (lipid) = 0.00385 + 0.006613 KNO_3 +0.002816KH_2PO_4 -0.0130Fe + 0.000161 NaCl- 0.000014 light intensity - 0.002080 carbon dioxide-0.002895 KNO_3*KNO_3 + 0.000725 KH_2PO4*KH_2PO_4 + 0.307 Fe*Fe + 0.000000 NaCl*NaCl+ 0.000001 light intensity*light intensity +0.000117 carbon dioxide* carbondioxide+0.000627 KNO_3*KH_2PO_4+0.01329 KNO_3*Fe-0.000000 KNO_3*NaCl+ 0.000123 KNO_3*light intensity+ 0.000471 KNO_3*carbondioxide+ 0.00051 KH_2PO_4*Fe-0.000011KH_2PO_4 *NaCl- 0.000000 KH2PO4*light intensity+0.000002KH_2PO_4*carbondioxide-0.000006Fe*NaCl -0.000003Fe*light intensity- 0.00012 Fe*carbondioxide-0.000000NaCl*light intensity+ 0.000000 NaCl*carbon dioxide+ 0.000000 light intensity *carbon dioxide

การทำนายปัจจัยที่เหมาะสมต่อผลผลิตชีวมวล ผลผลิตคาร์โบไฮเดรต และผลผลิตน้ำมัน คือ ปริมาณ KNO_3 ที่ 2.440 กรัมต่อลิตร KH_2PO_4 ที่2.440 กรัมต่อลิตร Fe ที่ 0.120 กรัมต่อลิตร NaCl ที่ 20.8776 light intensity ที่ 82.520 ไมโครโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที และ carbon dioxide ที่ความเข้มข้น 6.090 เปอร์เซนต์ ให้ผลผลิตชีวมวลที่ 0.0551 กรัมต่อลิตรต่อวัน ให้ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตที่ 18.1524 มิลลิกรัมกรัมต่อลิตรต่อวัน และให้ผลผลิตน้ำมันที่ 0.1251 กรัมต่อลิตรต่อวัน

คำสำคัญ : เดสโมเดสมัน ควอดริคอดา, ไบโอฟูเอล, แบบจำลองทางคณิตศาสตร์, ไขมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Research Title: Optimization model for cultivation of green alga, *Desmodesmus quadricauda* as feedstock for biofuel production

Researcher: Assoc. Prof. Dr. Suneerat Ruangsomboon

Mr. Phattanasak Chiwpreecha

Faculty: Faculty of Agricultural Technology **Department:** Department of Fisheries Science

ABSTRACT

Optimization model for cultivation of green alga, *Desmodesmus quadricauda* as feedstock for biofuel production was performed by screening the 7 factors which affected to biomass, carbohydrate and lipid of this alga. The factors; KNO_3, KH_2PO_4, Fe, NaCl, light intensity and carbon dioxide had positive effect to this alga. The optimization model by using CCD (6 factors) for lipid of this alga was: Y (lipid) = 0.00385 + 0.006613 KNO_3 +0.002816KH_2PO_4 -0.0130Fe + 0.000161 NaCl- 0.000014 light intensity - 0.002080 carbon dioxide-0.002895 KNO_3*KNO_3 + 0.000725 KH_2PO4*KH_2PO_4 + 0.307 Fe*Fe + 0.000000 NaCl*NaCl+ 0.000001 light intensity*light intensity +0.000117 carbon dioxide* carbondioxide+0.000627 KNO_3*KH_2PO_4+0.01329 KNO_3*Fe-0.000000 KNO_3*NaCl+ 0.000123 KNO_3*light intensity+ 0.000471 KNO_3*carbondioxide+ 0.00051 KH_2PO_4*Fe-0.000011KH_2PO_4 *NaCl- 0.000000 KH2PO4*light intensity+0.000002KH_2PO_4*carbon dioxide-0.000006Fe* NaCl-0.000003Fe*light intensity- 0.00012 Fe*carbondioxide-0.000000NaCl*light intensity+ 0.000000 NaCl*carbon dioxide+ 0.000000 light intensity *carbon dioxide

The optimum factors for biomass, carbohydrate and lipid were 2.440 g/L of KNO3, 2.440 g/L of KH_2PO_4, 0.120 g/L of Fe, 20.8776 g/L of NaCl, light intensity 82.520 $\mu E/m^{-2}/s$ and 6.090 of carbon dioxide which provide 0.0551 g/L/d of biomass, 18.1524 mg/L/d of carbohydrate and 0.1251 g/L/d of lipid productivity.

Key words: *Desmodesmus quadricauda*, biofuel, model, lipid

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

"การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากคณะเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558"

รศ. ดร. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 สมมุติฐานงานวิจัย	2
1.5 คำสำคัญของการวิจัย	2
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง/การทบทวนวรรณกรรม	3
2.1 เชื้อเพลิงชีวภาพ	3
2.2 ความเหมาะสมของการใช้สาหร่าย *D. quadricauda* เพื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ	4
2.3 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชีวเคมีที่สำคัญต่อผลผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพของสาหร่าย	6
2.4 รูปแบบการประเมินปัจจัยที่เหมาะสมโดยสมการทางคณิตศาสตร์	9
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย	11
3.1 การเตรียมหัวเชื้อสาหร่าย	11
3.2 การศึกษาผลของปัจจัยที่เหมาะสม ต่อมวลชีวภาพ ปริมาณน้ำมัน และปริมาณคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย	11
3.3 การคัดกรอง (Screening) ปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมต่อการเจริญเติบโต	11
3.4 การกำหนดระดับของปัจจัยตามการจัดการทดลอง	15
3.5 การวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ	15

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ (ต่อ) **หน้า**

3.6 รวบรวมข้อมูลจากการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรมทางสถิติ 15
3.7 การสร้างสมการจากแบบจำลอง..... 16
บทที่ 4 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 17
4.1 ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวล ผลผลิตคาร์โบไฮเดรต และผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* 17
4.2. อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวล ผลผลิตคาร์โบไฮเดรต และผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* 46
4.3 ผลการประมาณสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยเชิงพหุคูณ..... 78
4.4 จุดเหมาะสมของปัจจัยที่ศึกษา..... 82
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ..... 83
เอกสารอ้างอิง..... 85
ประวัติผู้เขียน..... 86

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 องค์ประกอบของผนังเซลล์สาหร่ายและรูปแบบการเก็บในเซลล์	5
2.2 องค์ประกอบพื้นฐานของเซลล์สาหร่ายที่แตกต่างกัน (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)	6
3.1 ตารางเมตริกของแผนการทดลอง two-level factorial design ที่มีปัจจัยต้องการคัดกรองจำนวน 7 ปัจจัย โดยทั้งหมด 64 ชุดทดลอง (N)	13
3.2 ปัจจัยที่ต้องการคัดเลือกทั้งหมด 7 ปัจจัย ในสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* KMITL โดยกำหนด model เป็น A B C D E F G	15
4.1 ผลการวิเคราะห์การผลิตชีวมวลของสาหร่ายขนาดเล็ก *D. quadricauda*	18
4.2 ผลการวิเคราะห์การผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายขนาดเล็ก *D. quadricauda*	19
4.3 ผลการวิเคราะห์การผลิตน้ำมันของสาหร่ายขนาดเล็ก *D. quadricauda*	20
4.4 ผลการวิเคราะห์ผลผลิตชีวมวล ผลผลิตคาร์โบไฮเดรต และผลผลิตน้ำมัน ทดลองแบบ central composite design แบบ 6 ปัจจัย	78

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แหล่งของเชื้อเพลิงชีวมวล:ไบโอดีเซล และไบโอเอทานอล	4
4.1 ผลผลิตชีวมวลในวันที่ 4 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	21
4.2 ผลผลิตชีวมวลในวันที่ 8 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	21
4.3 ผลผลิตชีวมวลในวันที่ 12 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	22
4.4 ผลผลิตชีวมวลในวันที่ 16 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	22
4.5 ผลผลิตชีวมวลในวันที่ 20 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	23
4.6 ผลผลิตชีวมวลในวันที่ 24 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	23
4.7 ผลผลิตชีวมวลในวันที่ 28 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	24
4.8 ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 4 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	24
4.9 ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 8 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	25
4.10 ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 12 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	25
4.11 ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 16 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	26
4.12 ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 20 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	26
4.13 ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 24 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	27
4.14 ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 28 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	27
4.15 ผลผลิตน้ำมันในวันที่ 4 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	28
4.16 ผลผลิตน้ำมันในวันที่ 8 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	29
4.17 ผลผลิตน้ำมันในวันที่ 12 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	29
4.18 ผลผลิตน้ำมันในวันที่ 16 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	30
4.19 ผลผลิตน้ำมันในวันที่ 20 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	30
4.20 ผลผลิตน้ำมันในวันที่ 24 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	31
4.21 ผลผลิตน้ำมันในวันที่ 28 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	31
4.22 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 4 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	32
4.23 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 8 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	32
4.24 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 12 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.25 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 16 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	34
4.26 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 20 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	34
4.27 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 24 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	35
4.28 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 28 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	36
4.29 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 4 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	36
4.30 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 12 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	37
4.31 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 16 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	38
4.32 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 20 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	38
4.33 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 24 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	39
4.34 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 28 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	40
4.35 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 4 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	40
4.36 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 8 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	41
4.37 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 12 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	42
4.38 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 16 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.39 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 20 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	43
4.40 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 24 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	44
4.41 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 28 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	41
4.42 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 8 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	45
4.43 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 4 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	46
4.44 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 8 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	46
4.45 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 12 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	47
4.46 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 16 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	47
4.47 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 20 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	48
4.48 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 24 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	48
4.49 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 28 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	49
4.50 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 4 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	49
4.51 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 8 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.52 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 12 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	50
4.53 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 16 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	51
4.54 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 20 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	51
4.55 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 24 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	52
4.56 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 28 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	52
4.57 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 4 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	53
4.58 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 8 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	53
4.59 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 16 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	54
4.60 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 20 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	54
4.61 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 24 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	55
4.62 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 28 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*	55
4.63 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 4	56
4.64 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 8	57

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4.65 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 12	58
4.66 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 16	59
4.67 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 20	60
4.68 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 24	61
4.69 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 28	62
4.70 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 4	63
4.71 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 8	64
4.72 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 12	65
4.73 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 16	66
4.74 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 20	67
4.75 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 24	68
4.76 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 28	69
4.77 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 4	70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

4.78 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 8..... 71
4.79 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 12..... 72
4.80 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 16..... 73
4.81 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 20..... 74
4.82 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 24..... 75
4.83 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 28..... 76
4.84 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 24..... 77
4.85 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 28..... 82

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

แหล่งพลังงานจากถ่านหิน น้ำมันปิโตรเลียม เป็นแหล่งพลังงานที่มีปริมาณจำกัดมีราคาสูง การเผาไหม้เชื้อเพลิงเหล่านี้ส่งผลให้เกิดภาวะโลกร้อน ปัจจุบันแหล่งพลังงานทางเลือกหลายประเภทได้รับความสนใจโดยเฉพาะเชื้อเพลิงชีวภาพ (biofuel) ซึ่งในอดีตผลิตจากพืชที่เป็นวัตถุดิบในผลิตภัณฑ์หรืออาหารสำหรับมนุษย์ จึงทำให้ราคาของผลิตภัณฑ์สำหรับมนุษย์สูงขึ้น ก่อให้เกิดปัญหาตามมา ปัจจุบันได้มีการเปลี่ยนมาใช้วัตถุดิบที่ไม่ใช่อาหารสำหรับมนุษย์ โดยพบว่าสาหร่ายได้รับความสนใจเป็นอย่างมากเพราะเจริญเติบโตเร็วกว่าพืชชั้นสูง เป็นแหล่งพลังงานที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม สาหร่ายสามารถลดปริมาณก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมได้มากถึง 82 % สามารถนำสาหร่ายมาผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพได้ทั้งไบโอเอทานอล ไบโอมีเธน และไบโอดีเซล สาหร่ายขนาดเล็กมีน้ำมัน 20-80 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง ให้น้ำมันได้มากถึง 58,700-136,900 ลิตรต่อเฮคแตร์ต่อปี โดยปริมาณคาร์โบไฮเดรท โปรตีน และน้ำมันที่พบในสาหร่ายจะผันแปรตามปริมาณสารอาหารเช่นไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เหล็ก วิตามิน และสภาวะในการเลี้ยงสาหร่าย เช่น แสง อุณหภูมิ ความเป็นกรดด่าง เป็นต้น

เกณฑ์สำคัญที่จะทำให้การนำสาหร่ายมาใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงชีวภาพ ได้สำเร็จในเชิงพาณิชย์คือต้องมีสายพันธุ์สาหร่ายที่เหมาะสม ให้ผลผลิตมวลชีวภาพ คาร์โบไฮเดรต และไขมันสูง และการเพาะเลี้ยงต้องมีต้นทุนต่ำ จากการศึกษาขั้นต้นพบว่าสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Desmodesmus quadricauda* เป็นสาหร่ายที่เจริญเติบโตได้รวดเร็ว ปรับตัวต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิได้ดี และมีรายงานว่าสาหร่ายทั้งสองชนิดนี้สามารถใช้เป็นแหล่งผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพได้เป็นอันดับต้น ดังนั้นการที่จะทำให้สาหร่ายทั้งสองชนิดนี้สามารถเป็นแหล่งผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพได้ในเชิงพาณิชย์ คือต้องทราบสภาวะที่กระตุ้นให้สาหร่ายมีมวลชีวภาพ คาร์โบไฮเดรทและน้ำมันสูงที่สุด ซึ่งสภาวะดังกล่าวต้องอาศัยหลายปัจจัยในการเลี้ยงร่วมกันอย่างเหมาะสม

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อหาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตมวลชีวภาพ คาร์โบไฮเดรต และไขมัน ในการเพาะเลี้ยงที่ทำให้สาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Desmodesmus quadricauda* ผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพได้สูง โดยผันแปรปัจจัยต่าง ๆ ร่วมกัน รวมถึงศึกษาแนวทางการนำเชื้อเพลิงชีวภาพจากสาหร่ายไปใช้ประโยชน์ในด้านพลังงานทดแทน เพื่อลดวิกฤตปัญหาด้านการขาดแคลนอาหารและพลังงานของมนุษย์ในอนาคต รวมถึงลดการพึ่งพาพลังงานจากต่างประเทศได้อีกทางหนึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ใช้สมการแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการศึกษาสภาวะร่วมที่เหมาะสม (optimum condition) ในการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก Desmodesmus quadricauda และ Botryococcus braunii เพื่อให้มีผลผลิตชีวมวล คาร์โบไฮเดรท และไขมันสูงที่สุด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* โดยผันแปรปัจจัยร่วม 7 ปัจจัย ได้แก่ความเข้มข้นของไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เหล็ก คาร์บอนไดออกไซด์ ความเค็ม วิตามิน และความเข้มแสง วิเคราะห์ผลผลิตชีวมวล คาร์โบไฮเดรท และไขมัน จากนั้นใช้สมการทางคณิตศาสตร์หาสภาวะร่วมที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงเพื่อให้ได้ผลผลิตเหล่านั้นสูงที่สุด

1.4 สมมุติฐานงานวิจัย

สามารถคัดเลือปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตที่ศึกษา พร้อมทั้งสามารถหาสถาวะร่วมที่เหมาะสมเพื่อปรับปรุงการเพาะเลี้ยงสาหร่ายให้ได้ผลผลิตสูงสุด

1.5 คำสำคัญของการวิจัย

สภาวะร่วมที่เหมาะสม (optimum condition), *Desmodesmus quadricauda*

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 สามารถหาสภาวะที่เหมาะสมในการเพาะเลี้ยงสาหร่าย เพื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพได้แม่นยำและรวดเร็ว โดยใช้ทรัพยากรในการศึกษาลดลง และข้อมูลจากการศึกษาสามารถนำมาปรับปรุงสูตรอาหารและสภาวะในการเลี้ยงเพื่อลดต้นทุน ระบุอัตราส่วนของปัจจัยที่เหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 เชื้อเพลิงชีวภาพ

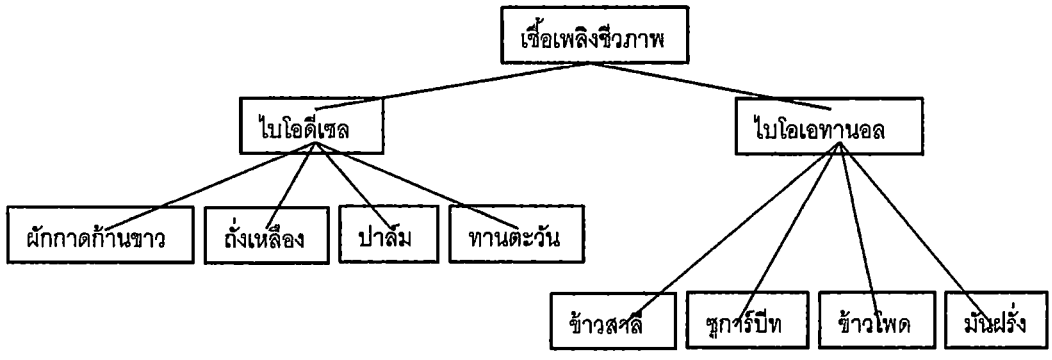
แหล่งพลังงานทางเลือกทดแทนที่ได้รับความสนใจมากในปัจจุบันที่สุดคือ เชื้อเพลิงชีวภาพ โดยเฉพาะไบโอเอทานอลและไบโอดีเซล เนื่องจากเป็นแหล่งเชื้อเพลิงเหลวที่มีปริมาณความต้องการใช้มาก โดยเฉพาะในภาคคมนาคม การขนส่งและอุตสาหกรรม โดยพบว่า เชื้อเพลิงชีวภาพ ที่ผลิตจากสาหร่ายขนาดเล็กมีบทบาทที่สำคัญมากในอนาคต สาหร่ายขนาดเล็กโดยเฉพาะกลุ่มสาหร่ายสีเขียว มีการเจริญเติบโตที่รวดเร็วมากกว่าพืชบกที่ใช้เป็นแหล่ง เชื้อเพลิงชีวมวลในอดีต สามารถเพาะปลูกได้แม้ในพื้นที่ที่ไม่อุดมสมบูรณ์ จึงไม่แย่งพื้นที่การเพาะปลูกของพืชบก ด้วยเหตุผลเหล่านี้นักวิจัยจึงลงความเห็นว่าสาหร่ายขนาดเล็กเป็นแหล่งผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพที่มีคุณภาพ สามารถทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ในอนาคต โดยเฉพาะน้ำมันหรือเชื้อเพลิงเหลว (Demirbas and Demirbas, 2011)

เชื้อเพลิงชีวภาพ คือ เชื้อเพลิงที่ได้จากชีวมวล (biomass) โดยมีความได้เปรียบกว่าเชื้อเพลิงที่ได้จากปิโตรเลียมในหลายด้าน (Demirbas, 2008) (1) เชื้อเพลิงชีวภาพสามารถหาได้ง่ายจากแหล่งชีวมวลทั่วไป (2) เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นการเผาไหม้ (3) เชื้อเพลิงชีวภาพเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม (4) สิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจและผู้บริโภคได้รับประโยชน์จากการใช้เชื้อเพลิงชีวมวล และ (5) เชื้อเพลิงชีวมวลเป็นเชื้อเพลิงที่ย่อยสลายได้และนำไปสู่ความยั่งยืน (Mustafa, 2011)

แหล่งพลังงานทางเลือกทดแทนที่ได้รับความสนใจมากในปัจจุบันที่สุดคือ เชื้อเพลิงชีวมวล โดยเฉพาะไบโอเอทานอลและไบโอดีเซล เนื่องจากเป็นแหล่งเชื้อเพลิงเหลวที่มีปริมาณความต้องการใช้มาก โดยเฉพาะในภาคคมนาคม การขนส่งและอุตสาหกรรม โดยพบว่าเชื้อเพลิงชีวมวลที่ผลิตจากสาหร่ายขนาดเล็กมีบทบาทที่สำคัญมากในอนาคต สาหร่ายขนาดเล็กโดยเฉพาะกลุ่มสาหร่ายสีเขียว มีการเจริญเติบโตที่รวดเร็วมากกว่าพืชบกที่ใช้เป็นแหล่งเชื้อเพลิงชีวมวลในอดีต สามารถเพาะปลูกได้แม้ในพื้นที่ที่ไม่อุดมสมบูรณ์ จึงไม่แย่งพื้นที่การเพาะปลูกของพืชบก ด้วยเหตุผลเหล่านี้นักวิจัยจึงลงความเห็นว่าสาหร่ายขนาดเล็กเป็นแหล่งผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลที่มีคุณภาพ สามารถทดแทนเชื้อเพลิงฟอสซิลได้ในอนาคต โดยเฉพาะน้ำมันหรือเชื้อเพลิงเหลว (Demirbas and Demirbas, 2011)

เชื้อเพลิงชีวภาพเหลว (Liquid Biofuel) เป็นทางเลือกจากสิ่งมีชีวิตในการทดแทนปิโตรเลียม เพราะเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่งทั่วไป เชื้อเพลิงเหลวที่ใช้ในการขนส่งมีไบโอเอทานอลกับไบโอดีเซล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 2.1 แหล่งของเชื้อเพลิงชีวมวล:ไบโอดีเซล และไบโอเอทานอล
ที่มา: Demirbas (2008)

2.2. ความเหมาะสมของการใช้สาหร่าย *D. quadricauda* เพื่อผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ

สาหร่ายขนาดเล็กสามารถพบได้ในแหล่งน้ำทุกประเภท มีการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว มีการสังเคราะห์แสงเช่นเดียวกับพืชชั้นสูง แต่มีข้อดีกว่าคือใช้เวลาในการเจริญเติบโตสูงสุดที่สั้นกว่าพืชชั้นสูงมาก โดยพบว่าสามารถเพิ่มปริมาณเป็นสองเท่าภายในเวลาเพียง 24 ชั่วโมงเท่านั้น (Chisti, 2007) และน้ำมัน (oil) จากสาหร่ายสามารถใช้เป็นแหล่งของไบโอดีเซล ได้ โดยทั่วไปสาหร่ายขนาดเล็กจะมีน้ำมัน 20-50 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักแห้ง (Chisti, 2007) แต่ในสาหร่ายบางชนิดสามารถให้ปริมาณน้ำมันได้สูงถึง 80 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักแห้ง โดยปริมาณน้ำมันและกรดไขมันที่พบจะผันแปรตามปริมาณสารอาหารและสภาวะในการเลี้ยงสาหร่ายด้วย (Mulbry et al., 2008: สุนีรัตน์และคณะ, 2548; สุนีรัตน์ 2549)

การเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กยังสามารถทำได้ง่าย ใช้พื้นที่น้อยกว่าพืชทั่วไป โดยเมื่อเทียบต่อพื้นที่ 1 เฮคแตร์ สาหร่ายขนาดเล็กสามารถให้น้ำมันได้มากถึง 58,700-136,900 ลิตร ซึ่งมากกว่าปาล์มน้ำมันที่ให้น้ำมันได้ 5,950 ลิตร (Chisti, 2007) นอกจากนี้ยังสามารถใช้น้ำทิ้งจากแหล่งต่าง ๆ เช่นของเสียจากธุรกิจปศุสัตว์ เช่นจากฟาร์มสุกร หรือกากน้ำตาล มาใช้เป็นสารอาหารในการเพาะเลี้ยง (Mulbry et al., 2008) และใช้คาร์บอนไดออกไซด์ที่ปล่อยจากโรงงานอุตสาหกรรมมาใช้ในระบบเพาะเลี้ยงสาหร่ายเพื่อเร่งการเจริญเติบโต จึงทำให้มีต้นทุนในการผลิตต่ำ นอกจากนี้ยังช่วยแก้ปัญหาการปล่อยคาร์บอนไดออกไซด์ของโรงงานอุตสาหกรรมได้ด้วย โดยจากการทดลองในระบบปิดพบว่าการเพาะเลี้ยงสาหร่ายสามารถลดปริมาณก๊าซเรือนกระจกได้มากถึง 82% (Scott et al, 2010)

ในการการศึกษาปริมาณน้ำมัน (oil) ในสาหร่ายขนาดเล็กพบปริมาณน้ำมัน (% น้ำหนักแห้ง) ใน *Botryococcus braunii* 25-75%, *Chlorella* sp. 28-32%, *Crypthecodinium cohnii* 20%, *Cylindrotheca* sp. 16-37%, *Dunaliella primolecta* 23%, *Isochrysis* sp. 25-33%, *Monallanthus salina* >20%, *Nannochloris* sp. 20-35%, *Nannochloropsis* sp. 31-68%, *Neochloris oleoabundans* 35-54%, *Nitzschia* sp. 45-47%, *Phaeodactylum tricornutum* 20-30%, *Schizochytrium* sp. 50-77%, *Tetraselmis sueica* 15-23% (Chisti, 2007)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Mata et al. (2010) รายงานปริมาณน้ำมัน (% น้ำหนักแห้ง) ในสาหร่ายขนาดเล็กหลายชนิด โดยสาหร่ายมีน้ำมันในสาหร่ายต่าง ๆ เช่น *Ankistrodesmus* sp. 24.0–31.0%, *Botryococcus braunii* 25.0–75.0%, *Chlorella emersonii* 25.0–63.0%, *Chlorella protothecoides* 14.6–57.8%, *Chlorella sorokiniana* 19.0–22.0%, *Chlorella vulgaris* 5.0–58.0%, *Chlorella* sp. 10.0–48.0%, *Chlorella pyrenoidosa* 2.0%, *Chlorella* 18.0–57.0%, *Chlorococcum* sp 19.3%., *Scenedesmus obliquus* 11.0–55.0%, *Scenedesmus quadricauda* 1.9–18.4%, *Scenedesmus* sp. 19.6–21.1%, *Spirulina platensis* 4.0–16.6%, *Spirulina maxima* 4.0–9.0% โดยสาหร่ายขนาดเล็กเหล่านี้สามารถผลิตน้ำมันได้ 10.3-142.0 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน และมีผลผลิตชีวมวลใน 0.003-10 กรัมต่อลิตรต่อวัน โดยใช้พื้นที่ในการผลิตมวลชีวภาพต่อกรัมคือ 0.57-130 ตารางเมตร ต่อวัน

นอกจากนี้ Chen et al. (2013) รายงานองค์ประกอบของเซลล์สาหร่ายที่สำคัญต่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพโดยแสดงส่วนที่เป็นผนังเซลล์และส่วนที่ทำหน้าที่กักเก็บของเซลล์ (ตารางที่ 2) โดยในส่วนที่เป็นพอลิแซคคาไรด์หรือแป้ง จะใช้เป็นแหล่งสำหรับการผลิตไบโอเอทานอลเป็นหลัก ส่วนน้ำมันจะใช้เป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซล หรือเศษเซลล์ที่เหลือจากการสกัดน้ำมันที่ประกอบด้วยแป้งและโปรตีนสามารถนำไปเป็นแหล่งผลิตไบโอมีเทนได้เช่นกัน

ตารางที่ 2.1 องค์ประกอบของผนังเซลล์สาหร่ายและรูปแบบการเก็บในเซลล์

ดิวิชัน	ผนังเซลล์	อาหารสะสม
Cyanophyta	Lipopolysaccharides, peptidoglycan	Cyanophycean starch
Chlorophyta	เซลลูโลส, เฮมิเซลลูโลส	แป้ง/น้ำมัน
Dinophyta	ไม่พบ หรือ ประกอบด้วยเซลลูโลสในปริมาณต่ำ	แป้ง
Cryptophyta	Periplast	แป้ง
Euglenophyta	ไม่พบ	Paramylum/น้ำมัน
Rhodophyta	วุ้น, carrageenan, เซลลูโลส, แคลเซียมคาร์บอเนต	Floridean starch
Heterokontophyta	ไม่มี หรือ หุ้มด้วยซิลิกา	Leucosin/น้ำมัน

ที่มา : Chen et al. (2013)

Garcia-Moscoso et al. (2013) รายงานองค์ประกอบพื้นฐานของเซลล์สาหร่ายขนาดเล็กที่สามารถนำผลิตเชื้อเพลิงชีวมวลได้ (ตารางที่ 2) โดยจะพิจารณาอาหารสะสมหลักสามประเภทคือ โปรตีน ไขมันและคาร์โบไฮเดรท โดยหากมีคาร์โบไฮเดรทมากจะพิจารณานำมาผลิตไบโอเอทานอล หากมีไขมันมากจะพิจารณานำมาเป็นแหล่งผลิตไบโอดีเซล หากมีโปรตีนมากจะพิจารณานำมาหมักทำไบโอมีเทน หรือพิจารณานำเศษเซลล์ที่เหลือจากการสกัดน้ำมันไปเป็นแหล่งอาหารสัตว์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 2.2 องค์ประกอบพื้นฐานของเซลล์สาหร่ายที่แตกต่างกัน (เปอร์เซ็นต์น้ำหนักแห้ง)

ALGA	โปรตีน	คาร์โบไฮเดรต	น้ำมัน
Chlamydomonas rheinhardii	48	17	21
Chlorella vulgaris	51-58	12-17	14-22
Euglena gracilis	39-61	14-18	14-20
Porphyridium cruentum	28-39	40-57	9-14
Scenedesmus obliquus	50-56	10-17	12-14
Spirulina platensis	46-63	8-14	4-9

ที่มา : Garcia-Moscoso et al. (2013)

2.3. ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบทางชีวเคมีที่สำคัญต่อผลผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพของสาหร่าย

สายพันธุ์สาหร่ายที่จะนำมาเพาะเลี้ยงเพื่อเป็นแหล่งของเชื้อเพลิงชีวภาพควรเป็นสายพันธุ์ที่เพาะเลี้ยงง่าย มีการเจริญเติบโตได้รวดเร็ว มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตหรือน้ำมันสูง และง่ายต่อการเก็บเกี่ยว โดยพบรายงานว่าปริมาณน้ำมันและกรดไขมันของสาหร่าย ผันแปรตามปริมาณสารอาหารและสภาวะในการเลี้ยงสาหร่ายด้วย (Khotimchenko and Yakovleva, 2004; Merzlyak et al., 2007; Mulbry et al., 2008; สุนีรัตน์ 2549) โดยปัจจัยที่มีผลต่อการเลี้ยงสาหร่ายมีหลายปัจจัยด้วยกัน ได้แก่

ปัจจัยทางกายภาพ เช่น แสง (light) เกี่ยวข้องกับกระบวนการสังเคราะห์แสงและการเจริญเติบโตของสาหร่าย การเจริญเติบโตอาจถูกยับยั้งหากได้รับแสงมากเกินไป อุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตและกิจกรรมต่างๆ ของสาหร่าย มีผลต่อโครงสร้างขององค์ประกอบภายในเซลล์โดยเฉพาะโปรตีนและน้ำมัน

ปัจจัยทางเคมีเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับธาตุอาหารที่สาหร่ายต้องการ เช่น ไนโตรเจน มีหน้าที่หลักช่วยในการสังเคราะห์แสง สร้างรงควัตถุ ช่วยในกิจกรรมการทำงานของเอนไซม์ สาหร่ายที่ขาดไนโตรเจนจะสร้างสารประกอบคาร์บอนขึ้นมาทดแทน เช่น สร้างขึ้นมาในรูปของน้ำมัน หรือแป้ง ฟอสฟอรัส เกี่ยวข้องกับขบวนการถ่ายทอดพลังงาน ขบวนการสร้างกรดนิวคลีอิกของสาหร่าย ถ้าขาดฟอสฟอรัสจำให้ปริมาณโปรตีน คลอโรฟิลล์-เอ RNA, DNA ของสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินลดลง ส่วนปริมาณแป้ง คาร์โบไฮเดรตจะเพิ่มขึ้น เหล็กช่วยในการดูดซึมไนโตรเจนของสาหร่าย ช่วยในขบวนการสังเคราะห์แสง ช่วยสร้างคลอโรฟิลล์-เอ phycocyanin

ปริมาณเชื้อเพลิงชีวภาพที่ผลิตจากสาหร่ายที่เลี้ยงด้วยปัจจัยที่แตกต่างกันจะได้ปริมาณแตกต่างกันด้วย เนื่องจากมวลชีวภาพสามารถเปลี่ยนพลังงานโดยวิธีทางชีววิทยาและทางเคมีไปเป็น ไบโอเอทานอล ไบโอบิวทานอล ไบโอไฮโดรเจนและก๊าซทางชีวภาพหรือการสกัดเพื่อไปเป็นน้ำมันไบโอดีเซล นอกจากนี้เมื่อกล่าวถึงเชื้อเพลิงชีวภาพโดยทั่วไปมักนึกถึง ไบโอเอทานอลหรือไบโอดีเซล เป็นลำดับแรก อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีในปัจจุบันเป็นตัวชักนำที่สามารถทำให้วัสดุต่าง ๆสามารถเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพได้ (Chen et al., 2013) ปัจจัยต่างๆล้วนแล้วส่งผลซึ่งกันและกันในสาหร่ายชนิดเดียวกันและได้ปริมาณของเชื้อเพลิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ชีวภาพที่แตกต่างกัน เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส เหล็ก ความเข้มแสง ความเค็ม คาร์บอนไดออกไซด์ รวมถึงวิตามินบางชนิด เช่น B12

Converti et al. (2009) ได้ทดลองลดความเข้มข้น $NaNO_3$ ในการเลี้ยง *Chlorella vulgaris* ในสภาวะ $NaNO_3$ ที่ 1.500, 0.750 และ 0.375 g/L ผลพบว่าระดับ $NaNO_3$ ที่ 0.375 g/L มีผลทำให้ *C. vulgaris* มีปริมาณน้ำมันสูงที่สุดคือ 15.31 ± 0.51% เพราะเมื่อ $NaNO_3$ ลดลง ทำให้สาหร่ายเกิดความเครียดจะทำให้มีปริมาณน้ำมันสูงและน้ำมันที่มาจากขบวนการ metabolism ซึ่งเมื่อเทียบกับการทดลองลดความเข้มข้น $NaNO_3$ ในการเลี้ยง *Navicula oculata* ในสภาวะ $NaNO_3$ ที่ 0.300, 0.150 และ 0.075 g/L พบว่าระดับ $NaNO_3$ ที่ 0.075 g/L มีผลทำให้ *N. oculata* มีปริมาณน้ำมันสูงที่สุดคือ 15.86 ± 0.59%

Widjaja et al. (2009) ทำการทดลองโดยเลี้ยงสาหร่าย *C. vulgaris* โดยเปรียบเทียบปริมาณไขมันรวมระหว่างสูตรอาหารปกติและสูตรอาหารขาดไนโตรเจน พบว่าปริมาณไขมันเพิ่มขึ้นในสภาวะที่ไนโตรเจนลดลงเพราะในสภาวะที่ไนโตรเจนลดลง ทำให้ *C. vulgaris* เกิดความเครียดทำให้เกิดการยับยั้งการแบ่งเซลล์ จึงส่งผลทำให้เกิดการสะสมไขมันเพิ่มขึ้น

Hsieh and Wu (2009) ได้ทดลองลดไนโตรเจน (ยูเรีย) ในการเลี้ยงสาหร่ายน้ำเค็ม *Chlorella* sp. ในสภาวะลดไนโตรเจน (ยูเรีย) ที่ 0.025, 0.050, 0.100, 0.150 และ 0.200 g/L ผลพบว่ายูเรียที่ระดับ 0.025 g/L มีผลทำให้ *Chlorella* sp. มีปริมาณน้ำมันสูงสุดคือ 0.661 g/g เพราะไนโตรเจนมีผลต่อขบวนการ metabolism ทำให้ปริมาณน้ำมันมากขึ้นในสาหร่ายขนาดเล็ก

Liu et al. (2008) ได้ทดลองเพิ่มเหล็กในการเลี้ยง *C. vulgaris* ในสภาวะ $FeCl_3$ ที่ 0, 1.2×10^{-8}, 1.2×10^{-7}, 1.2×10^{-6} และ 1.2×10^{-5} พบว่าสาหร่ายที่เลี้ยงใน Fe^{3+} ที่ 1.2×10^{-5} mol/L มีปริมาณไขมันสูงสุดคือ 56.6% เพราะ $FeCl_3$ ช่วยในการดูดซึมไนโตรเจน เมื่อเหล็กลดลงการดูดซึมไนโตรเจนลดลงทำให้ *C. vulgaris* เกิดความเครียดจึงทำให้เกิดสะสมไขมันเพิ่มขึ้น

นิพล (2547) ได้ทดลองเลี้ยง *Tetraselmis* sp. โดยให้ระยะเวลาการให้แสงสว่างแตกต่างกัน คือ ระยะเวลาการให้แสง : ไม่ให้แสง เท่ากับ 24 : 0 และ 12 : 12 เมื่อเลี้ยงเป็นเวลา 10 วัน พบว่าที่ระยะเวลาการให้แสง : 24 : 0 น้ำมันมีค่าเท่ากับ 3.73 ± 0.72 %น้ำหนักแห้ง ส่วนการให้แสง 12 : 12 ไขมันเท่ากับ 0.62 ± 0.10%น้ำหนักแห้ง การเลี้ยงสาหร่าย *Chlorella* sp. ในช่วงสว่างต่อมืดเท่ากับ 16 : 8 ชั่วโมง จะให้ปริมาณน้ำมันสูงที่สุดคือ ร้อยละ 6.42 ซึ่งสูงกว่าการให้แสงสว่างต่อมืดเท่ากับ 12 : 12 เพราะสาหร่ายเกิดความเครียดจากระยะเวลาของการสังเคราะห์แสงที่มาก และมีระยะเวลาของการหยุดสังเคราะห์แสงน้อย ซึ่งทำให้เกิดการยับยั้งการแบ่งเซลล์ และทำให้มีการสะสมของน้ำมันเพิ่มขึ้น

คาร์บอนไดออกไซด์เป็นแหล่งคาร์บอนประเภทสารอนินทรีย์ที่จำเป็นต่อสาหร่ายขนาดเล็กที่สามารถสังเคราะห์แสงได้ โดยเพาะเลี้ยงในสภาวะ phototroph ซึ่งจะตรึงคาร์บอนไดออกไซด์มาใช้ในวัฏจักรคาร์วิน (calvin cycle) เพื่อสังเคราะห์ไปเป็นแป้งและไขมันในเซลล์ต่อไป ในอาหารเลี้ยงสาหร่ายนั้นการเขย่าจะให้คาร์บอนไดออกไซด์สำหรับการสังเคราะห์แสง ทั้งยังช่วยให้อาหารเลี้ยงสาหร่ายเข้ากันและรักษาสภาพให้เป็นเนื้อเดียวกันระหว่างเซลล์กับสารอาหาร (Amaro *et al.*, 2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Takagi et al. (2006) ได้ทดลองเลี้ยงสาหร่าย *Dunaliella teriolecta* ในระดับความ NaCl ที่ 0.5 และ 1.0 M พบว่าจากการเลี้ยงที่ให้ NaCl 1 M จะให้ปริมาณไขมัน 67% ซึ่งสูงกว่าการเลี้ยงใน NaCl 0.5 M ซึ่งให้น้ำมัน 60%

ความสัมพันธ์กับปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ของสาหร่ายชนิดนั้นๆ (Bekasova *et al.* 2002) ปริมาณพอลิแซ็กคาไรด์ทั้งภายในเซลล์ (intracellular polysaccharide, IPS) ส่วนที่หุ้มติดผนังเซลล์ (capsular polysaccharide, CPS) และส่วนที่ละลายในน้ำล้อมรอบเซลล์ (exocellular polysaccharide, EPS) ที่สร้างโดยสาหร่ายนั้นขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อมในการเลี้ยงโดยขึ้นกับปัจจัยทางกายภาพและเคมี (Otero and Vincenzi. 2003; Allard and Tazi. 1993) พอลิแซ็กคาไรด์ของสาหร่ายสร้างขึ้นในเซลล์ระหว่างการเจริญเติบโต ดังนั้นปริมาณ IPS, CPS และ EPS จึงสัมพันธ์การเจริญเติบโตของสาหร่าย ซึ่งปัจจัยในการเลี้ยงที่มีผลต่อการเจริญเติบโตย่อมมีผลต่อปริมาณ IPS, CPS และ EPS ด้วย

การเลี้ยงสาหร่ายสีเขียวแกมน้ำเงินชนิด *Gloeocapsa gelatinosa* ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกันในสูตรอาหาร M-18 โดยสภาวะที่เหมาะสมคือ ได้รับแสง 24 ชั่วโมง ความเข้มแสง 400 ไมโครไอสไตน์ต่อตารางเมตรต่อวินาที พีเอชอาหารเท่ากับ 7 (สภาวะควบคุม) และเลี้ยงในสภาวะที่ไม่เหมาะสม เลี้ยงเป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่า *G. gelatinosa* ที่เลี้ยงภายใต้สภาวะควบคุมมีปริมาณ CPS และ EPS สูงสุดคือ 35.4 มิลลิกรัมต่อกรัมสาหร่าย และ 33.0±1.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีปริมาณผลผลิตสูงสุดคือ 1.9±0.3 กรัมต่อลิตร การเลี้ยงภายใต้อาหารที่ไม่เติมไนเตรทและภายใต้ความเข้มแสงต่ำ จะทำให้มีปริมาณ CPS ต่ำ (Ruangsomboon *et al.* 2006)

Efremenko et al. (2012) ศึกษาความเป็นไปได้ในการปรับสภาพมวลชีวภาพของสาหร่ายขนาดเล็กและไซยาโนแบคทีเรียหลายชนิดเพื่อใช้เป็นสารตั้งต้นในการหมัก acetone–butanol–ethanol (ABE) โดยใช้การตรึงเซลล์ของ *Clostridium acetobutylicum* ใน poly (vinyl alcohol) cryogel และหาองค์ประกอบทางชีวเคมีที่เกิดขึ้นโดยกระบวนการสังเคราะห์แสงภายใต้สภาวะการเลี้ยงที่แตกต่างกัน พบว่าเทคนิคที่มีประสิทธิภาพสูงสุดในการเปลี่ยนสารที่เกิดขึ้นในระบบไปเป็นเชื้อเพลิงชีวภาพ ด้วยวิธี thermal decomposition ที่ 108 °C โดยเซลล์ของ *Nannochloropsis* sp. สามารถผลิต ABE ได้สูงสุดถึง 8.5 มิลลิโมลต่อลิตรต่อวัน นอกจากนี้เมื่อใช้สาหร่าย *Arthrospira platensis* สามารถผลิต butanol และ ethanol สูงสุด คือ 117.2 และ 22.5 เปอร์เซ็นคาร์โบไฮเดรตในอาหาร

การการตอบสนองต่อความเครียดจากสารอาหารของเซลล์สาหร่ายขนาดเล็กคือการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของสารโมเลกุลใหญ่ (macromolecule) ของเซลล์ เช่น เมื่อไนโตรเจนที่จำนวนกำจัดจะทำให้มีการลดลงของปริมาณโปรตีน และค่อนข้างเพิ่มการสะสมของคาร์โบไฮเดรตหรือไขมัน สำหรับฟอสเฟตที่มีจำกัดจะทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของสัดส่วน โปตีนไขมันและคาร์โบไฮเดรต (Bertilsson *et al.* 2003) ดังนั้นองค์ประกอบทางชีวเคมีของเซลล์สาหร่ายขนาดเล็กจึงมีความสัมพันธ์กับอัตราการเจริญเติบโต และส่งผลต่อศักยภาพทางสรีรวิทยา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.4. รูปแบบการประเมินปัจจัยที่เหมาะสมโดยสมการทางคณิตศาสตร์

โดยทั่วไปปัจจัยทางสิ่งแวดล้อมต่างๆ ล้วนแต่มีอิทธิพลต่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพของสาหร่ายในการเพาะเลี้ยง จากการศึกษาก่อนหน้านี้หลายการศึกษามักจะศึกษาทีละปัจจัย แต่พบว่าลักษณะดังกล่าวเสียเวลาและค่าใช้จ่าย ในระยะหลังจึงได้มีการพัฒนารูปแบบทางสถิติและใช้สมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการหาความเหมาะสมของสภาวะต่างๆ หลายปัจจัยร่วมกันและได้ผลที่แม่นยำ รวดเร็ว และสามารถคาดการณ์ผลผลิตในอนาคตได้ ประหยัดเวลา และลดค่าจ่ายในการประเมิน

โดยรูปแบบการประเมินปัจจัยที่เหมาะสมที่ใช้ประเมินคือ การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล (factorial design) เนื่องจากเป็นแบบการทดลองโดยอิทธิพลของปัจจัยร่วม ซึ่งเราสามารถทราบผลของปัจจัยหลัก (main effects) และจำนวนของปัจจัย (interaction effects) และนำมาหาการวิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง (response surface method, RSM) เป็นเทคนิคทางสถิติอย่างหนึ่งที่ใช้แผนภาพคอนทัวร์ (contour plot) ในการตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ผลคือสามารถที่จะสภาวะในการเลี้ยงสาหร่ายที่เหมาะสม (optimization) จากความสัมพันธ์เหล่านั้นเมื่อพิจารณาปัจจัยที่สนใจเหล่านั้นพร้อมๆ กัน และสามารถวิเคราะห์สมการถดถอย (regression analysis) เพื่อใช้ในการคาดการณ์ได้ มาประยุกต์หาความสัมพันธ์ที่เรียกว่า รูปแบบโพลิโนเมียล (polynomial model) ซึ่งโดยทั่วไปรูปแบบของพื้นผิวตอบสนองจะพิจารณารูปแบบโพลิโนเมียลลำดับที่ 1 (first order model) การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ระดับ (2^k factorial) หรือลำดับที่ 2 (second order model) เช่น central composite design (CCD) การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 3 ระดับ (3^k factorial)

ซึ่งแม่นยำกว่าการใช้วิธี “one factor at a time” และหากว่าตัวแปรที่สนใจเหล่านั้นมีมากเกินไป จึงมีการใช้วิธีการคัดกรอง (Screening) เอาปัจจัยที่ไม่มีอิทธิพลตัดออกไป ซึ่งหนึ่งในวิธีการคัดกรองที่ประหยัดเวลา และลดทรัพยากรและได้ผลแม่นยำคือ two-level factorial design โดยพิจารณาจากค่า significant แล้วจึงตรวจสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ ที่มีอิทธิพลร่วมกันอีกครั้งโดยวิธีการข้างต้น อย่างไรก็ตาม มีรายงานการศึกษาแบบหลายปัจจัยร่วมกันต่อการผลิตเชื้อเพลิงชีวมวล เช่น Chen et al (2014) ศึกษาปัจจัยต่างๆ มีอิทธิพลต่อปริมาณไขมันและคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายขนาดเล็ก โดยการศึกษาครั้งนี้ประเมินความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย (อุณหภูมิ, แสง, ไนโตรเจน และความเข้มข้นของคาร์บอนไดออกไซด์) ที่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโตและปริมาณไขมันและคาร์โบไฮเดรต ของมวลชีวภาพ โดยใช้ full factorial design method การหาค่าความเหมาะสมของกำลังผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ ผลที่ได้ทำนาย multiple regression analysis เมื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลอง พบว่ากำลังผลิต biofuel สูงสุดคือสภาวะอุณหภูมิมากกว่า 25 °C ความเข้มแสงมากกว่า 60 มิลลิโมลโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที ที่ไนโตรเจนเข้มข้น น้อยกว่า 50 มิลลิกรัมต่อลิตร และการเติม CO_2 มากกว่า 18 มิลลิลิตรต่อลิตรต่อวัน และพบว่า เพาะเลี้ยงสาหร่าย 10 วัน เป็นระยะเวลาที่เหมาะสมที่สุดในการเพาะเลี้ยงสำหรับการผลิตไขมันภายใต้สภาวะดังกล่าว

Ji et al. (2014) ศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่ายสีเขียว *Desmodesmus* sp. EJ15-2 โดยปัจจัยของอุณหภูมิ ค่าพีเอช ความเข้มแสงและช่วงเวลาได้รับแสง ต่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

การผลิตมวลชีวภาพ และการศึกษาในครั้งนี้ทำการแยกสายพันธ์ใหม่ของสาหร่ายขนาดเล็กและสายพันธ์ปัจจุบันของสาหร่ายขนาดเล็กที่เจริญเติบโตภายใต้สภาวะ autotrophic ในอาหารสูตร BG-11 และประเมินความเหมาะสมโดยวิเคราะห์การตอบสนองของพื้นที่ผิว (response surface methodology, RSM) ที่ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์สูง คือ (R^2= 0.923, P<0.01) บ่งชี้ว่าความสามารถในการปรับตัวที่สามารถเข้าสมการ second-order ได้ดี ที่สภาวะในการเจริญเติบโตที่เหมาะสมที่มีความสัมพันธ์สูงต่อผลผลิตมวลชีวภาพ (สูงถึง 0.758 กรัมต่อลิตร) คืออุณหภูมิ 30°C ที่ความเข้มแสง 98 โมลต่อตารางเมตรต่อวินาที และช่วงเวลาได้รับแสง 14:10 (L:D) ตามลำดับ

Xie et al. (2012) ศึกษาการหาสภาวะที่เหมาะสมในกระตุ้นการผลิตน้ำมันของสาหร่ายสีเขียวขนาดเล็ก *Chlorella* sp. LAM-H โดยใช้วิธีวิเคราะห์การตอบสนองของพื้นที่ผิว (RSM) และ central composite design (CCD) พบว่าสอดคล้องกับสมการถดถอย (polynomial regression) ที่ second-order (R^2= 0.9911) และปัจจัยร่วมที่เหมาะสมต่อกำลังผลิตไขมันเท่ากับ 247.16 มิลลิกรัมต่อลิตรต่อวัน ภายใต้สภาวะความเข้มข้นกลูโคส 26.2 กรัมต่อลิตร โซเดียมไนเตรท 2.06 กรัมต่อลิตรที่ อุณหภูมิ 28.18°C

Siegler et al. (2012) การหาความเหมาะสมของการผลิตมวลชีวภาพและกำลังผลิตน้ำมันในการเพาะเลี้ยงแบบ heterotropic ของ *Auxenochlorella protothecoides* โดยหาความเหมาะสมจาก non-linear model-based พบว่าการเพิ่มขึ้น 10 เท่าในกำลังเฉลี่ยมวลชีวภาพ และเพิ่มขึ้น 16 เท่าในกำลังผลิตสูงสุด ความหนาแน่นสุดท้ายในการเพาะเลี้ยงแบบเหมาะสมคือ 144 กรัมต่อลิตร (น้ำหนักแห้ง) ปริมาณน้ำมัน 49.4 เปอร์เซ็นต์ (w/w) และกำลังผลิตไขมันคือ 20.16 กรัมต่อลิตรต่อวัน ความหนาแน่นของเซลล์ในช่วง exponential phase คือ 86 กรัมต่อลิตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1. การเตรียมหัวเชื้อสาหร่าย โดยเลี้ยงหัวเชื้อสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* KMITL ในอาหารสูตร Chlorella medium ในภาชนะแก้วที่บรรจุอาหารที่ผ่านการฆ่าเชื้อด้วยหม้อนึ่งฆ่าเชื้อ ที่อุณหภูมิ 121 ^{o}C ความดัน 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ในห้องเพาะเลี้ยงสาหร่ายที่ปลอดเชื้อ มีการควบคุมแสงที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เพื่อใช้สาหร่ายเป็นหัวเชื้อในการศึกษาขั้นต่อไป

3.2. การศึกษาผลของปัจจัยที่เหมาะสม ต่อมวลชีวภาพ ปริมาณน้ำมัน และปริมาณคาร์โบไฮเดรต ของสาหร่ายโดยวางแผนการทดลองแบบ two-level factorial design และ วิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Method) เลี้ยงสาหร่าย โดยเซลเซียส ให้แสงสว่างต่อมืด 12: 12 เป็นเวลา 28 วัน ที่ระดับอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ในอาหารสูตร Chlorella medium ที่ผ่านการฆ่าเชื้อในฟลาสก์แก้ว ขนาด 1 ลิตร

3.3.การคัดกรอง (Screening) ปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมต่อการเจริญเติบโต คาร์โบไฮเดรตและไขมัน โดยการจัดการทดลองแบบ two-level factorial design โดย 7 ปัจจัย (Factors) คือ ไนโตรเจน (A), ฟอสฟอรัส (B), เหล็ก (C), คาร์บอนไดออกไซด์ (D), ความเข้มแสง (E), ความเค็ม (F) และวิตามินบี 12 (G) ดังตารางที่ 4 ออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป โดยมีรายละเอียดของการทดลองดังนี้

ออกแบบการทดลองแบบ two-level factorial design (Fractional Factorial Design)
Factors: 7 Base Design: 7, 16 Resolution: IV
Runs: 64 Replicates: 4 Fraction: 1/8
Blocks: 1 Center pts (total): 0

Design Generators: E = ABC, F = BCD, G = ACD

Defining Relation: I = ABCE = BCDF = ACDG = ADEF = BDEG = ABFG = CEFG

Alias Structure

I + ABCE + ABFG + ACDG + ADEF + BCDF + BDEG + CEFG

A + BCE + BFG + CDG + DEF + ABCDF + ABDEG + ACEFG

B + ACE + AFG + CDF + DEG + ABCDG + ABDEF + BCEFG

C + ABE + ADG + BDF + EFG + ABCFG + ACDEF + BCDEG

D + ACG + AEF + BCF + BEG + ABCDE + ABDFG + CDEFG

E + ABC + ADF + BDG + CFG + ABEFG + ACDEG + BCDEF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

F + ABG + ADE + BCD + CEG + ABCEF + ACDFG + BDEFG

G + ABF + ACD + BDE + CEF + ABCEG + ADEFG + BCDFG

AB + CE + FG + ACDF + ADEG + BCDG + BDEF + ABCEFG

AC + BE + DG + ABDF + AEFG + BCFG + CDEF + ABCDEG

AD + CG + EF + ABCF + ABEG + BCDE + BDFG + ACDEFG

AE + BC + DF + ABDG + ACFG + BEFG + CDEG + ABCDEF

AF + BG + DE + ABCD + ACEG + BCEF + CDFG + ABDEFG

AG + BF + CD + ABDE + ACEF + BCEG + DEFG + ABCDFG

BD + CF + EG + ABCG + ABEF + ACDE + ADFG + BCDEFG

ABD + ACF + AEG + BCG + BEF + CDE + DFG + ABCDEFG

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 3.1 ตารางเมตริกของแผนการทดลอง two-level factorial design ที่มีปัจจัยต้องการคัดกรอง จำนวน 7 ปัจจัย โดยทั้งหมด 64 ชุดทดลอง (N)

สิ่งทดลอง	ปัจจัย (Factors)						
(Treatment)	A	B	C	D	E	F	G
1	-	-	-	-	-	-	-
2	+	-	-	-	+	-	+
3	-	+	-	-	+	+	-
4	+	+	-	-	-	+	+
5	-	-	+	-	+	+	+
6	+	-	+	-	-	+	-
7	-	+	+	-	-	-	+
8	+	+	+	-	+	-	-
9	-	-	-	+	-	+	+
10	+	-	-	+	+	+	-
11	-	+	-	+	+	-	+
12	+	+	-	+	-	-	-
13	-	-	+	+	+	-	-
14	+	-	+	+	-	-	+
15	-	+	+	+	-	+	-
16	+	+	+	+	+	+	+
17	-	-	-	-	-	-	-
18	+	-	-	-	+	-	+
19	-	+	-	-	+	+	-
20	+	+	-	-	-	+	+
21	-	-	+	-	+	+	+
22	+	-	+	-	-	+	-
23	-	+	+	-	-	-	+
24	+	+	+	-	+	-	-
25	-	-	-	+	-	+	+
26	+	-	-	+	+	+	-
27	-	+	-	+	+	-	+
28	+	+	-	+	-	-	-

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

29	-	-	+	+	+	-	-
30	+	-	+	+	-	-	+
31	-	+	+	+	-	+	-
32	+	+	+	+	+	+	+
33	-	-	-	-	-	-	-
34	+	-	-	-	+	-	+
35	-	+	-	-	+	+	-
36	+	+	-	-	-	+	+
37	-	-	+	-	+	+	+
38	+	-	+	-	-	+	-
39	-	+	+	-	-	-	+
40	+	+	+	-	+	-	-
41	-	-	-	+	-	+	+
42	+	-	-	+	+	+	-
43	-	+	-	+	+	-	+
44	+	+	-	+	-	-	-
45	-	-	+	+	+	-	-
46	+	-	+	+	-	-	+
47	-	+	+	+	-	+	-
48	+	+	+	+	+	+	+
49	-	-	-	-	-	-	-
50	+	-	-	-	+	-	+
51	-	+	-	-	+	+	-
52	+	+	-	-	-	+	+
53	-	-	+	-	+	+	+
54	+	-	+	-	-	+	-
55	-	+	+	-	-	-	+
56	+	+	+	-	+	-	-
57	-	-	-	+	-	+	+
58	+	-	-	+	+	+	-
59	-	+	-	+	+	-	+
60	+	+	-	+	-	-	-
61	-	-	+	+	+	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

62	+	-	+	+	-	-	+
63	-	+	+	+	-	+	-
64	+	+	+	+	+	+	+

หมายเหตุ A - G หมายถึง ปัจจัยที่ต้องการคัดกรอง

3.4 กำหนดระดับของปัจจัยตามการจัดการทดลองแบบ two-level factorial design ในสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* KMITL ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 3.2 ปัจจัยที่ต้องการคัดเลือกทั้งหมด 7 ปัจจัย ในสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* KMITLโดยกำหนด model เป็น A B C D E F G

No.	Model	Factors	Low level (-)	High level (+)
1	A	KNO_3 (g/L)	0.1	2
2	B	KH_2PO_4 (g/L)	0.1	2
3	C	$FeSO_4.7H_2O$ (g/L)	0	0.1
4	D	NaCl (mM)	0.01	100
5	E	Light intensity (blum)	1	3
6	F	B12 (mg/L)	0	0.02
7	G	CO_2 (%)	0	5

ที่มา: Ling et al. (2014), Ruangsomboon (2012).

3.5. เตรียมอาหารเลี้ยงสาหร่ายตามสิ่งทดลองที่กำหนด ทดลองเลี้ยงสาหร่ายโดยให้แสงที่ 12:12 ชั่วโมง ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 องศาเซลเซียส เก็บตัวอย่างเพื่อวัดการเจริญเติบโต (Dry weight) ปริมาณคาร์โบไฮเดรต (Phenol-sulfuric method) และปริมาณไขมัน (Bligh & Dyer method) ทุก 3 วัน

3.6ขั้นตอนการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการ และรงควัตถุของสาหร่าย

3.6.1. ขั้นตอนการวิเคราะห์หาน้ำหนักแห้งของสาหร่าย (Dry weight)

3.6.1.1 นำสาหร่าย 5 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดพลาสติกแล้วเข้าเครื่อง Centrifuge ที่ความเร็ว 3500 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นเติมน้ำ pH 4 ลงในหลอดทดลอง แล้วเข้าเครื่อง Centrifuge อีกรอบ

3.6.1.2 เทเซลล์ของสาหร่ายใส่ในถ้วยฟรอยด์ที่ผ่านการอบและชั่งน้ำหนักเรียบร้อยแล้ว จากนั้นก็นำถ้วยฟรอยด์ที่มีเซลล์สาหร่ายอยู่ไปเข้าอบอีกครั้งที่อุณหภูมิ 105 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.6.1.3 เมื่อครบ 24 ชั่วโมงแล้วก็นำถ้วยฟรอยด์ออกจากตู้อบ Hot air oven แล้วใส่ในโถดูดความชื้น (Desiccators) นานประมาณ 30 นาที

3.6.1.4 นำถ้วยฟรอยด์ออกมาชั่งน้ำหนัก นำค่าที่ได้ไปคำนวณค่าน้ำหนักแห้งของสาหร่าย โดยใช้สูตรดังนี้

น้ำหนักแห้งของสาหร่าย (Dry weight) = b – a

a = น้ำหนักของถ้วยฟรอยด์

b = น้ำหนักรวมของถ้วยฟรอยด์และสาหร่ายหลังอบ

3.6.2. ขั้นตอนการวิเคราะห์หาปริมาณคาร์โบไฮเดรต: Phenol-Sulphuric method

3.6.2.1 เก็บสาหร่าย 2 มิลลิลิตรใส่ในหลอดพลาสติก แล้วนำมาเข้าเครื่อง Centrifuge ที่ความเร็ว 3500 รอบต่อนาที อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 นาที หลังจากนั้นเติมน้ำ pH 4 ลงในหลอดทดลอง แล้วเข้าเครื่อง Centrifuge อีกรอบ

3.6.2.2 นำเซลล์ของสาหร่ายที่ได้มาเติมสารละลายฟีนอล 5% (W/V) 1 มิลลิลิตร โดยในขั้นตอนนี้จะเปลี่ยนมาใช้หลอดแก้วแล้ว แล้วนำไปปั่นด้วยเครื่อง Vortex mixture

3.6.2.3 เติมกรด H_2SO_4 5 มิลลิลิตร อย่างรวดเร็ว (ควรให้เสร็จภายใน 20 วินาที)

3.6.2.4 ทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 30 นาที

2.3.2.5 วัดค่า Absorbance ที่ 485 nm.

3.6.2.6 เตรียม standard curve: จาก stock ของสารละลายกลูโคส ทำเป็นสารละลายเจือจางที่ 0, 10, 20, 40, 60, 80, 100, 150, 200 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร

3.7.รวบรวมข้อมูลจากการทดลองที่ได้ไปวิเคราะห์ข้อมูลโดยโปรแกรมทางสถิติ โดยทำการคัดเลือกปัจจัยที่ต้องการจากค่า significant ค่า $P< 0.1$ ที่ระดับความเชื่อมั่น 90 เปอร์เซ็นต์ แล้วนำปัจจัยที่มีค่า significant ที่ได้อย่างน้อย 2 - 3 ปัจจัยไปศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่อไปในวิธีพื้นผิวตอบสนอง (Response Surface Method)

3.8.วิเคราะห์พื้นผิวตอบสนอง (response surface method, RSM)

หาระดับที่เหมาะสมโดยวิธี RSM โดยนำข้อมูลที่มีการคัดกรองปัจจัยที่ไม่มีนัยสำคัญออก ตามวิธีการของ two-level factorial design

3.9. สอบทานแบบจำลองที่ได้กับการทดลองจริง เพื่อทดสอบความแม่นยำของแบบจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวล ผลผลิตคาร์โบไฮเดรต และผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

การใช้แผนการทดลองของ two-level factorial design เพื่อคัดเลือกปัจจัยหลาย ๆ ปัจจัยให้เหลือเพียงปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการผลิตชีวมวล การผลิตคาร์โบไฮเดรตและการผลิตน้ำมันของสาหร่ายขนาดเล็ก *D. quadricauda* ซึ่งปัจจัยที่นำมาศึกษามีทั้งหมด 7 ปัจจัย คือ KNO_3 (X_1), KH_2PO_4 (X_2), $FeSO_4$ (X_3), NaCl (X_4), light intensity (X_5), cyanocobalamin (X_6) และ CO_2 (X_7) โดยมีสิ่งทดลองทั้งหมด 64 สิ่งทดลอง ทำการทดลองจำนวน 4 ซ้ำ เพาะเลี้ยงที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ให้แสงสว่างต่อมืด 12: 12 เป็นเวลา 28 วัน พบว่า การผลิตชีวมวล การผลิตคาร์โบไฮเดรตและการผลิตน้ำมันในเซลล์ของสาหร่ายขนาดเล็ก *D. quadricauda* จากการวางแผนการทดลอง two-level factorial design แสดงค่าที่แตกต่างกันดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

140563

ตารางที่ 4.1 ผลการวิเคราะห์การผลิตชีวมวลของสาหร่ายขนาดเล็ก *D. quadricauda*

สิ่งทดลอง	ผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายขนาดเล็ก *D. quadricauda* (กรัม/ลิตร/วัน)						
	วันที่ 4	ที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24	วันที่ 28
1	0.1000±0.25	0.1583±0.10	0.0720±0.17	0.0611±0.04	0.0529±0.06	0.0548±0.24	0.0294±0.05
2	0.1415±0.12	0.1745±0.07	0.1237±0.02	0.1057±0.03	0.1009±0.00	0.0791±0.02	0.0747±0.01
3	0.1829±0.17	0.1488±0.05	0.1312±0.04	0.1157±0.01	0.1056±0.00	0.0760±0.01	0.0774±0.01
4	0.3230±0.18	0.2047±0.09	0.1057±0.04	0.1145±0.11	0.0737±0.03	0.0565±0.02	0.0547±0.01
5	0.2866±0.12	0.1973±0.05	0.1600±0.02	0.1289±0.04	0.0567±0.04	0.0848±0.03	0.0817±0.02
6	0.4096±0.24	0.1199±0.39	0.0985±0.06	0.0738±0.02	0.1220±0.05	0.0593±0.01	0.0551±0.01
7	0.3652±0.15	0.2311±0.06	0.1507±0.01	0.1229±0.01	0.1161±0.03	0.0836±0.02	0.0650±0.02
8	0.4659±0.04	0.2771±0.13	0.1543±0.03	0.1196±0.06	0.1045±0.01	0.1062±0.01	0.0925±0.02
9	0.2383±0.18	0.1849±0.07	0.0994±0.04	0.0822±0.02	0.0672±0.04	0.0737±0.04	0.0595±0.04
10	0.3199±0.08	0.2100±0.08	0.1309±0.03	0.1113±0.01	0.0890±0.03	0.0807±0.03	0.0715±0.02
11	0.2846±0.08	0.1824±0.03	0.1255±0.06	0.1044±0.03	0.0922±0.04	0.1012±0.04	0.0752±0.01
12	0.2620±0.09	0.2420±0.02	0.0953±0.10	0.1115±0.03	0.0871±0.08	0.0725±0.02	0.0676±0.00
13	0.2253±0.06	0.1887±0.01	0.1393±0.04	0.1091±0.03	0.1649±0.01	0.0869±0.03	0.0730±0.02
14	0.3352±0.09	0.2391±0.02	0.1626±0.02	0.1055±0.09	0.1005±0.08	0.0996±0.02	0.0764±0.01
15	0.2346±0.20	0.1794±0.07	0.1379±0.03	0.1167±0.01	0.0812±0.02	0.0750±0.03	0.0672±0.05
16	0.3963±0.04	0.2832±0.03	0.1857±0.02	0.1480±0.02	0.1684±0.02	0.0941±0.05	0.0943±0.02

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์การผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายขนาดเล็ก *D. quadricauda*

สิ่งทดลอง	ผลผลิตน้ำมันของสาหร่ายขนาดเล็ก *D. quadricauda* (มิลลิกรัม/ลิตร/วัน)						
	วันที่ 4	ที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24	วันที่ 28
1	11.2805±0.13	17.8270±0.02	8.1386±0.06	6.8997±0.01	5.9855±0.03	6.2152±0.10	3.3360±0.03
2	15.9912±0.05	19.6860±0.03	14.0441±0.06	12.0829±0.02	11.6283±0.02	9.1226±0.07	8.6113±0.04
3	20.7053±0.08	16.8481±0.03	14.9884±0.04	13.2648±0.04	12.0734±0.03	8.7817±0.03	8.9878 ±0.02
4	36.4517±0.10	23.0482±0.05	11.9478±0.02	12.9678±0.02	8.3637±0.02	6.4048±0.01	6.2168±0.02
5	32.3858±0.11	22.3158±0.05	18.2368±0.01	14.7484±0.05	6.4312±0.03	9.7843±0.04	9.4172±0.03
6	46.3460±0.05	13.5104±0.52	11.1432±0.02	8.3500±0.02	14.0858±0.02	6.7401±0.04	6.2644±0.01
7	41.2701±0.06	26.0460±0.03	17.0715±0.01	13.9367±0.08	13.1989±0.02	9.5080±0.02	7.4157±0.03
8	52.7377±0.04	31.2988±0.14	17.5418±0.03	13.6358±0.05	11.9395±0.01	12.1699±0.04	10.6425±0.04
9	26.9141±0.22	20.7926±0.05	11.2337±0.01	9.2932±0.03	7.6288±0.03	8.3877±0.01	6.7885±0.01
10	36.1431 ±0.13	23.6831±0.14	14.8447±0.01	12.6052±0.02	10.1496±0.04	9.1966±0.04	8.1959±0.02
11	32.1435. ±0.07	20.5396±0.08	14.2603±0.04	11.9178±0.05	10.5843±0.03	11.5673±0.01	8.6430±0.22
12	29.5696±0.06	27.2603±0.18	10.7816±0.08	12.6116±0.06	9.8553±0.04	8.2401±0.05	7.6713±0.01
13	25.4935±0.07	21.3096±0.07	15.8411±0.04	12.4417±0.03	18.8318±0.03	9.9485±0.03	8.3607±0.04
14	37.8643±0.06	26.9695±0.07	18.4599±0.03	12.0061±0.05	11.4916±0.06	11.3331±0.02	8.7764±0.06
15	26.4726±0.11	20.1927±0.15	15.5906±0.03	13.1770±0.03	9.1741±0.01	8.5047±0.01	7.6155±0.04
16	44.7881±0.06	32.0024±0.03	21.2187±0.02	16.9731±0.02	19.4757±0.04	10.8677±0.02	10.9465±0.06

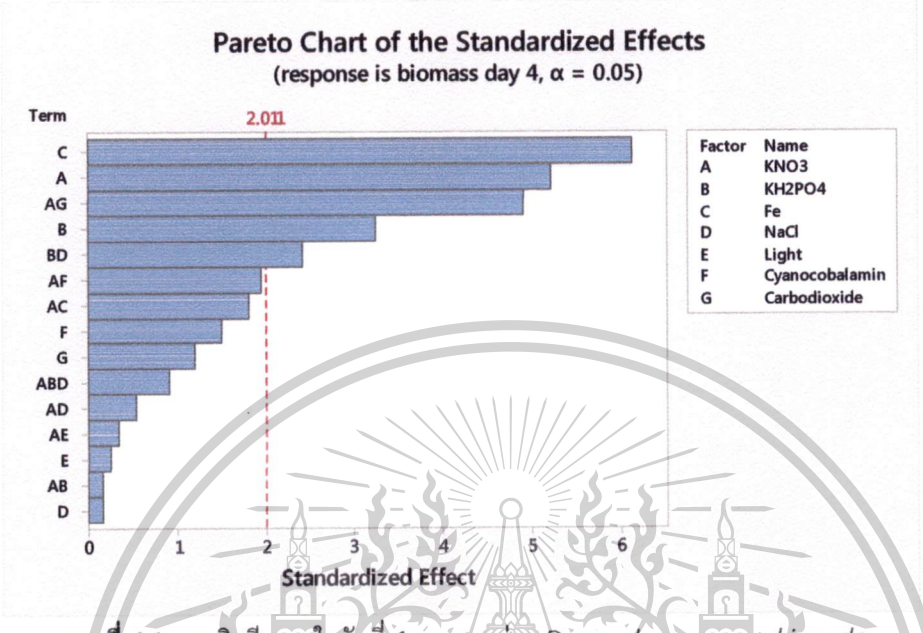
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์การผลิตน้ำมันของสาหร่ายขนาดเล็ก *D. quadricauda*

สิ่งทดลอง	ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายขนาดเล็ก *D. quadricauda* (กรัม/ลิตร/วัน)						
	วันที่ 4	.ที่ 8	วันที่ 12	วันที่ 16	วันที่ 20	วันที่ 24	วันที่ 28
1	0.0191±2.65	0.0058±1.07	0.0105±1.78	0.0055±0.40	0.0094±0.68	0.0103±2.59	0.0027±0.53
2	0.0279±1.27	0.0192±0.73	0.0287±0.19	0.0205±0.30	0.0282±0.05	0.0273±0.24	0.0187±0.07
3	0.0379±1.85	0.0195±0.53	0.0302±0.48	0.0202±0.06	0.0296±0.03	0.0217±0.14	0.0194±0.06
4	0.0912±1.92	0.0356±1.00	0.0190±0.39	0.0154±1.16	0.0127±0.34	0.0110±0.21	0.0153±0.06
5	0.0542±1.27	0.0199±0.55	0.0280±0.22	0.0089±0.45	0.0111±0.46	0.0189±0.35	0.0144±0.23
6	0.1085±2.59	0.0414±4.16	0.0155±0.67	0.0095±0.20	0.0261±0.52	0.0125±0.14	0.0072±0.07
7	0.0687±1.58	0.0359±0.63	0.0196±0.11	0.0086±0.10	0.0180±0.27	0.0117±0.18	0.0081±0.18
8	0.2179±0.43	0.1621±1.33	0.0508±0.33	0.0405±0.66	0.0490±0.15	0.0472±0.16	0.0385±0.20
9	0.0890±1.89	0.0501±0.77	0.0207±0.39	0.0211±0.22	0.0219±0.42	0.0201±0.48	0.0179±0.39
10	0.1805±0.81	0.0822±0.86	0.0450±0.34	0.0401±0.15	0.0345±0.34	0.0248±0.35	0.0279±0.22
11	0.0847±0.81	0.0472±0.29	0.0296±0.67	0.0285±0.34	0.0369±0.41	0.0320±0.44	0.0458±0.08
12	0.0749±0.99	0.0983±0.22	0.0276±1.08	0.0368±0.28	0.0312±0.84	0.0249±0.21	0.0203±0.04
13	0.0461±0.60	0.0321±0.08	0.0416±0.39	0.0291±0.32	0.0520±0.10	0.0279±0.28	0.0253±0.20
14	0.0626±0.95	0.0431±0.24	0.0505±0.16	0.0325±0.98	0.0274±0.88	0.0304±0.22	0.0308±0.14
15	0.0338±2.09	0.0352±0.72	0.0330±0.31	0.0386±0.11	0.0178±0.26	0.0151±0.36	0.0173±0.48
16	0.1876±0.39	0.1018±0.28	0.0697±0.20	0.0504±0.21	0.1072±0.23	0.0542±0.55	0.0540±0.21

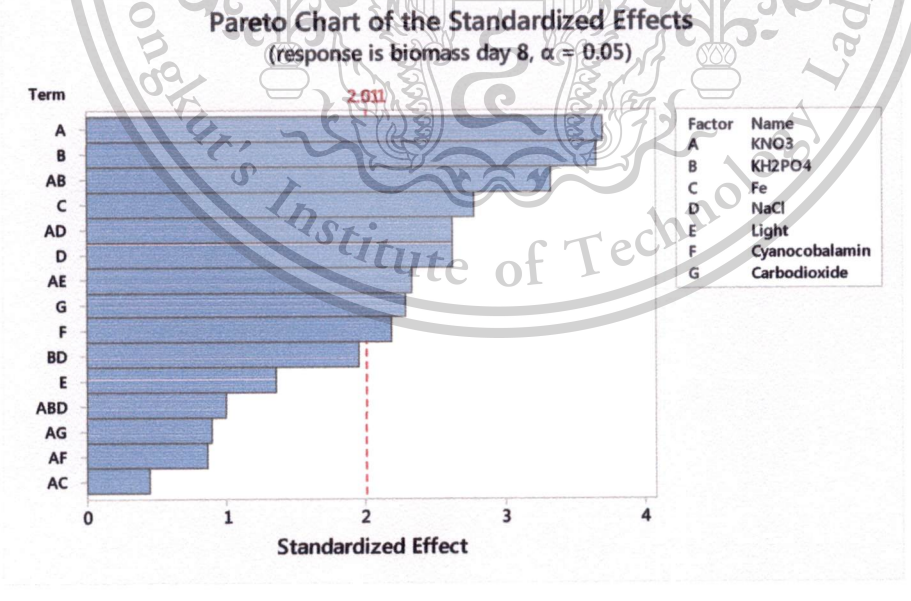
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.1. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*



ภาพที่ 4.1 ผลผลิตชีวมวลในวันที่ 4 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

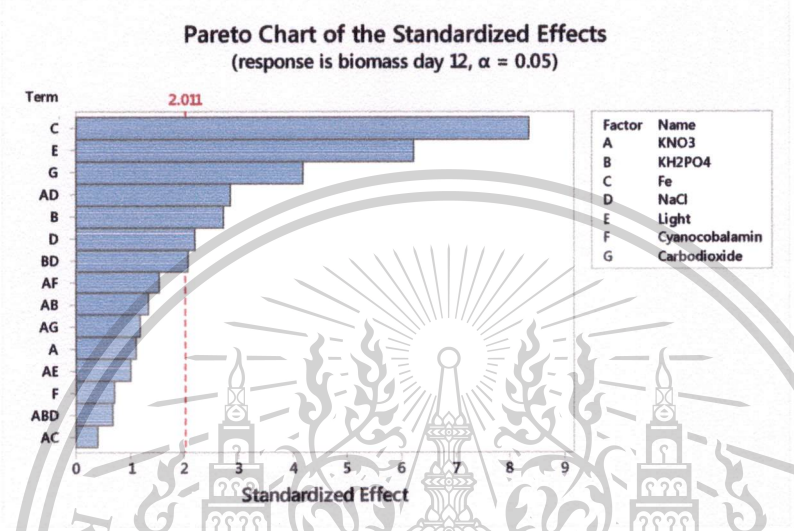
จากการวิเคราะห์ผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* ในวันที่ 4 ด้วยโปรแกรม minitab17 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ Fe, KNO_3, KNO_3*carbondioxide, KH_2PO_4 และ KH_2PO_4*NaCl



ภาพที่ 4.2 ผลผลิตชีวมวลในวันที่ 8 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

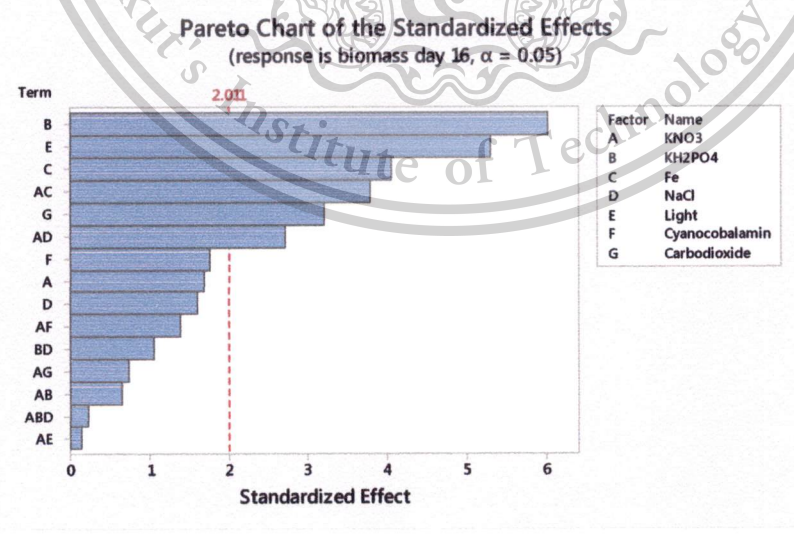
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการวิเคราะห์ผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* ในวันที่ 8 ด้วยโปรแกรม minitab17 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ KNO_3, KH_2PO_4, KNO_3*KH_2PO_4, Fe, KNO_3*NaCl, NaCl, KNO_3*light intensity, carbondioxide และ cyanocobalamin



ภาพที่ 4.3 ผลผลิตชีวมวลในวันที่ 12 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

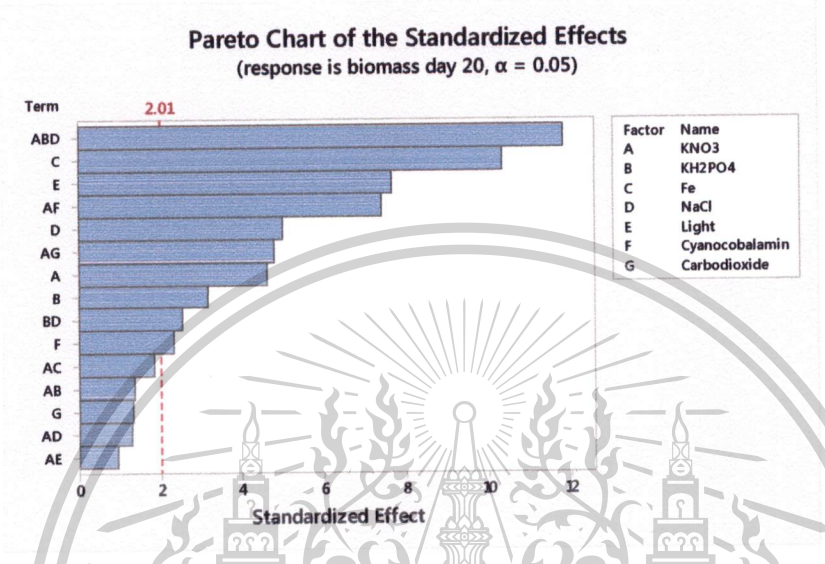
จากการวิเคราะห์ผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* ในวันที่ 12 ด้วยโปรแกรม minitab17 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ Fe, light intensity, carbondioxide, KNO_3*NaCl, KH_2PO_4, NaCl และ KH_2PO_4*NaCl



ภาพที่ 4.4 ผลผลิตชีวมวลในวันที่ 16 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

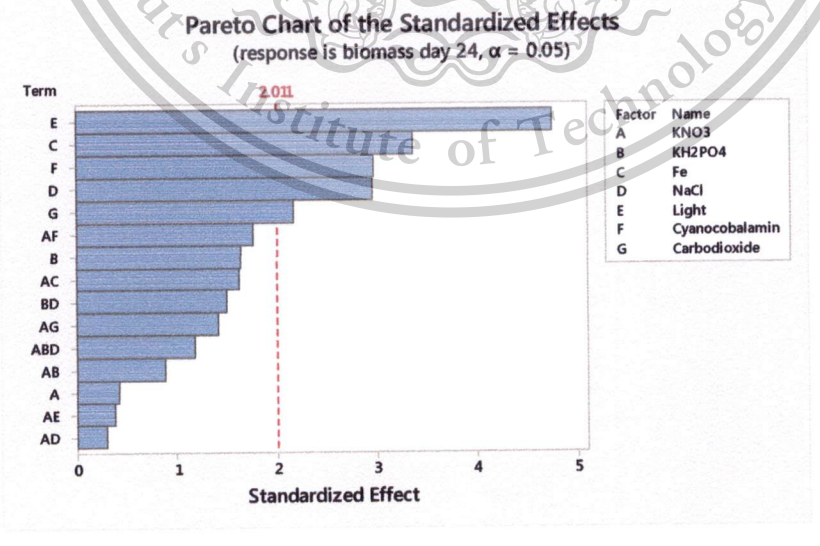
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการวิเคราะห์ผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* ในวันที่ 16 ด้วยโปรแกรม minitab17 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ KH_2PO_4, light intensity, Fe, KNO_3*Fe, carbondioxide, และ KNO_3*NaCl



ภาพที่ 4.5 ผลผลิตชีวมวลในวันที่ 20 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

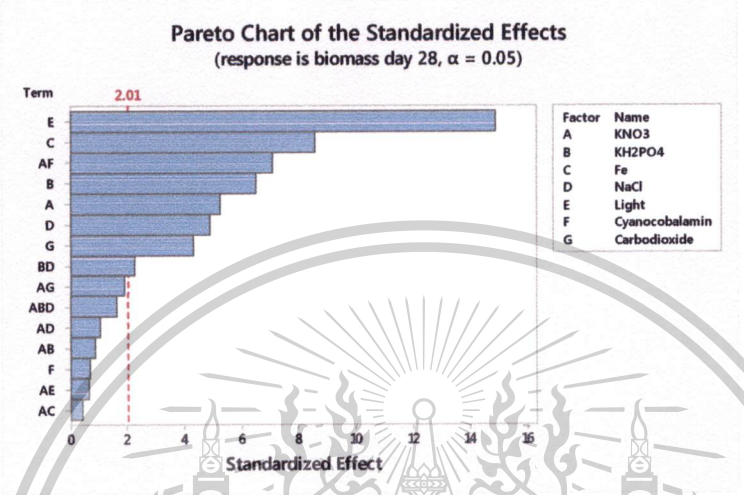
จากการวิเคราะห์ผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* ในวันที่ 20 ด้วยโปรแกรม minitab17 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ KNO_3*KH_2PO_4*NaCl, Fe, light intensity, KNO_3*cyanocobalamin, NaCl, KNO_3*carbondioxide, KNO_3, KH_2PO_4, KH_2PO_4*NaCl และ cyanocobalamin



ภาพที่ 4.6 ผลผลิตชีวมวลในวันที่ 24 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

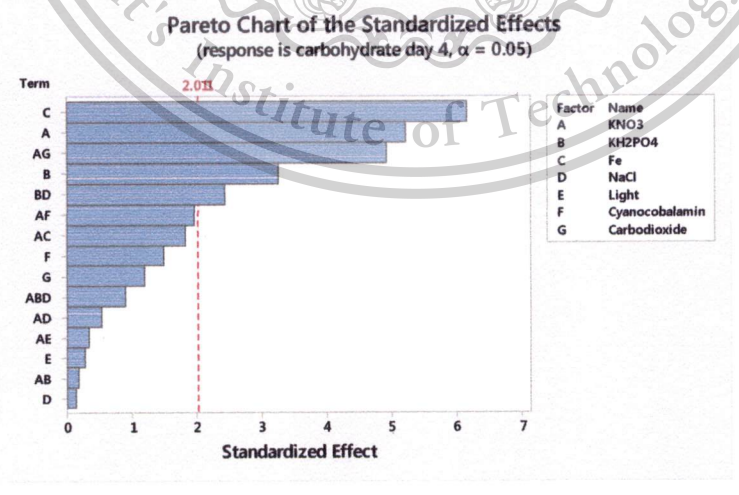
จากการวิเคราะห์ผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* ในวันที่ 24 ด้วยโปรแกรม minitab17 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ light intensity, Fe, cyanocobalamin, NaCl และ carbondioxide



ภาพที่ 4.7 ผลผลิตชีวมวลในวันที่ 28 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

จากการวิเคราะห์ผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* ในวันที่ 28 ด้วยโปรแกรม minitab17 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ คือ light intensity, Fe, KNO_3*cyanocobalamin, KH_2PO_4, KNO_3, NaCl, carbondioxide และ KH_2PO_4*NaCl

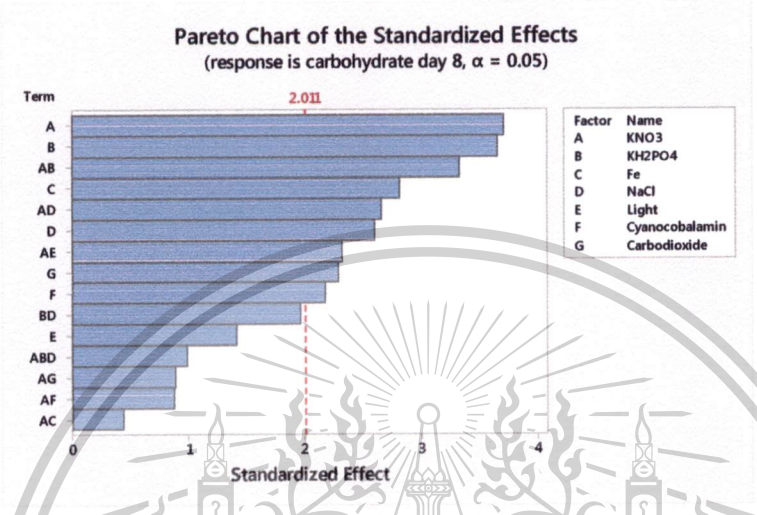
4.1.2. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*



ภาพที่ 4.8 ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 4 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

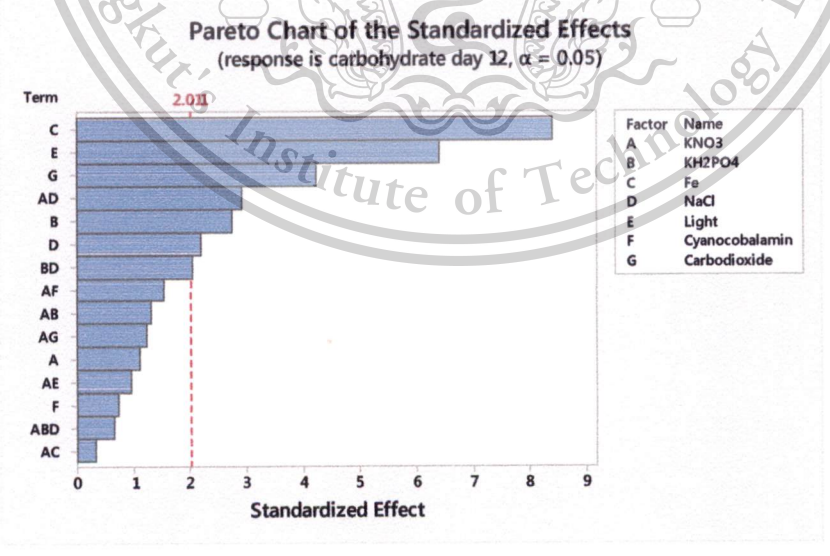
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการวิเคราะห์ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* ในวันที่ 4 ด้วยโปรแกรม minitab17 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรต คือ Fe, KNO_3, KNO_3*carbondioxide, KH_2PO_4 และ KH_2PO_4*NaCl



ภาพที่ 4.9 ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 8 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

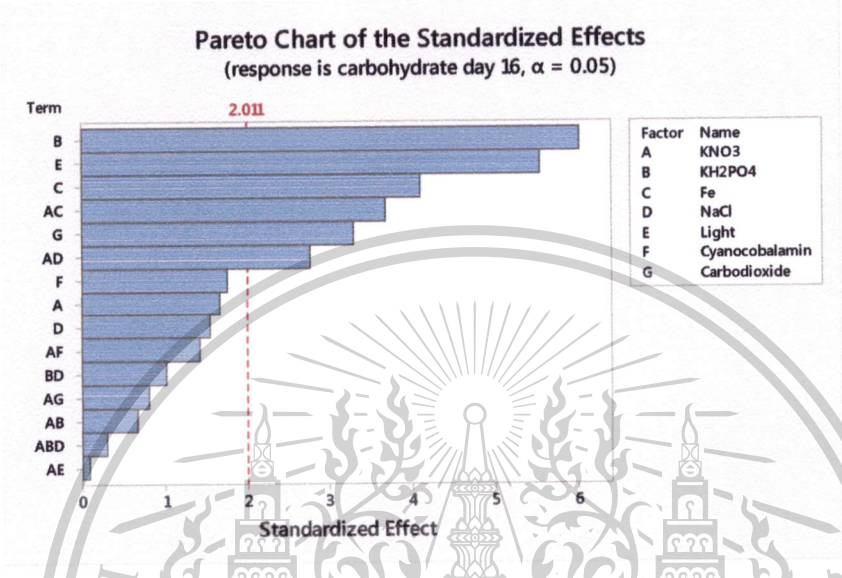
จากการวิเคราะห์ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* ในวันที่ 8 ด้วยโปรแกรม minitab17 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรต คือ KNO_3, KH_2PO_4, KNO_3*KH_2PO_4, Fe, KNO_3*NaCl, NaCl, KNO_3*light intensity, carbondioxide และ cyanocobalamin



ภาพที่ 4.10 ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 12 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

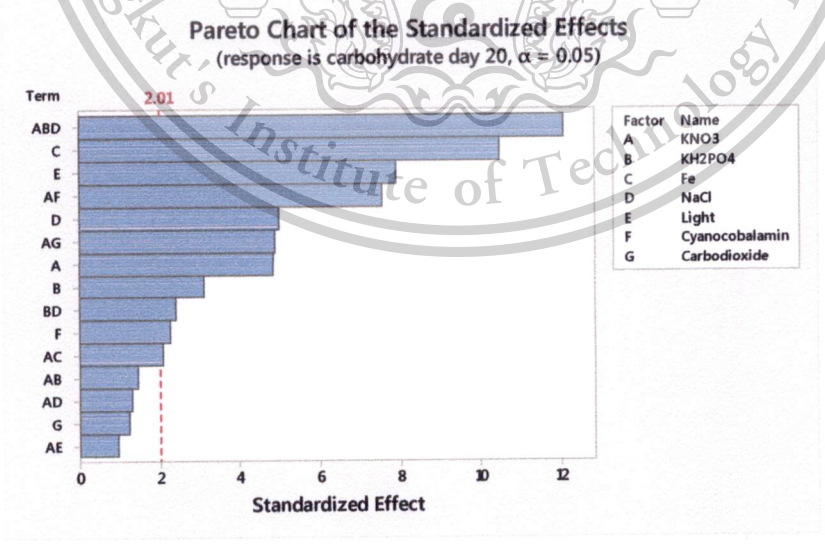
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการวิเคราะห์ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* ในวันที่ 12 ด้วยโปรแกรม minitab17 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรต คือ Fe, light intensity, carbondioxide, KNO_3*NaCl, KH_2PO_4, NaCl และ KH_2PO_4*NaCl



ภาพที่ 4.11 ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 16 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

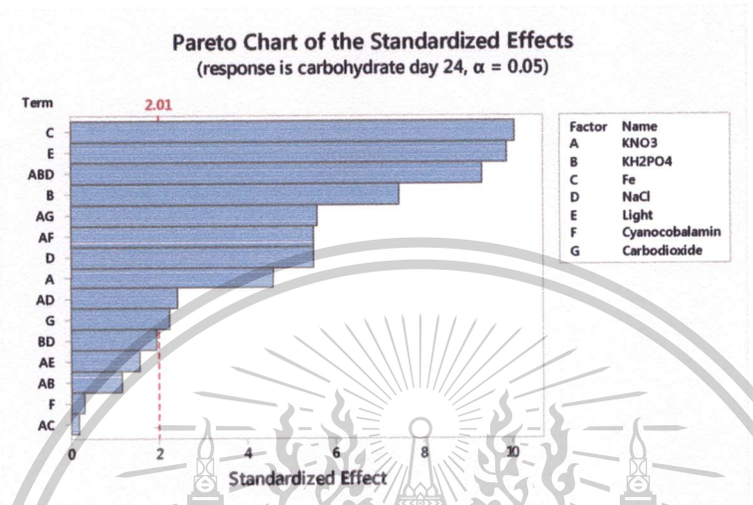
จากการวิเคราะห์ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* ในวันที่ 16 ด้วยโปรแกรม minitab17 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตคือ KH_2PO_4, light intensity, Fe, KNO_3*Fe, carbondioxide และ KNO_3*NaCl



ภาพที่ 4.12 ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 20 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

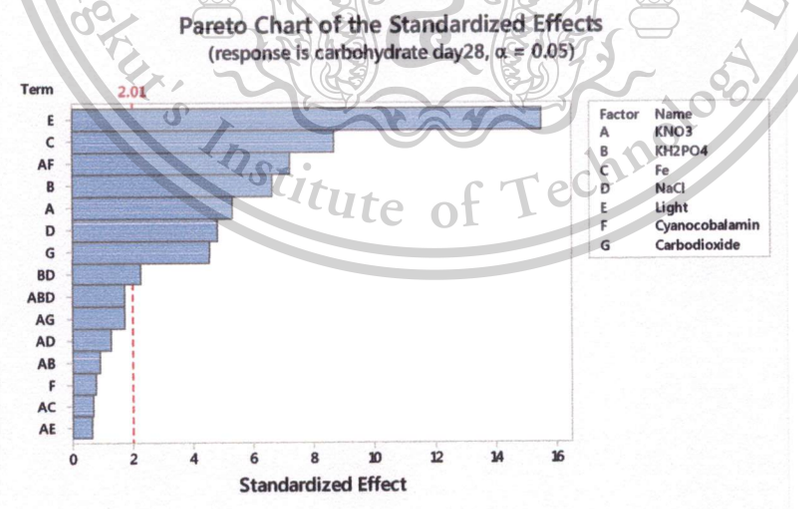
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการวิเคราะห์ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* ในวันที่ 20 ด้วยโปรแกรม minitab17 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตคือ KNO_3*KH_2PO_4*NaCl, Fe, light intensity, KNO_3*cyanocobalamin, NaCl, KNO_3*carbondioxide, KNO_3, KH_2PO_4, KH_2PO_4* NaCl, cyanocobalamin*NaCl, cyanocobalamin และ KNO_3*Fe



ภาพที่ 4.13 ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 24 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

จากการวิเคราะห์ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* ในวันที่ 24 ด้วยโปรแกรม minitab17 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรต คือ Fe, light intensity, KNO_3*KH_2PO_4*NaCl, KH_2PO_4, KNO_3*carbondioxide, KNO_3*cyanocobalamin, NaCl, KNO_3, KNO_3 *NaCl และ carbondioxide

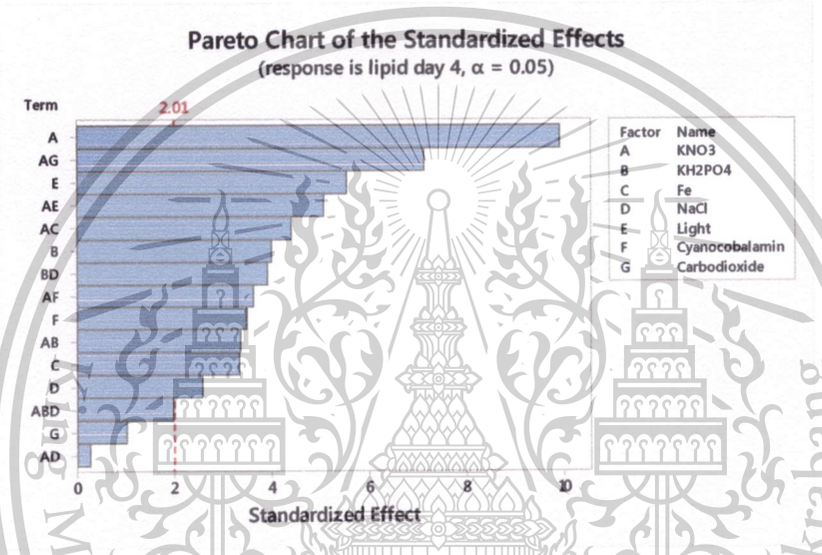


ภาพที่ 4.14 ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 28 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากการวิเคราะห์ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* ในวันที่ 28 ด้วยโปรแกรม minitab17 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรต คือ light intensity, Fe, KNO_3*cyanocobalamin, KH_2PO_4, KNO_3, NaCl, carbondioxide และ KH_2PO_4*NaCl

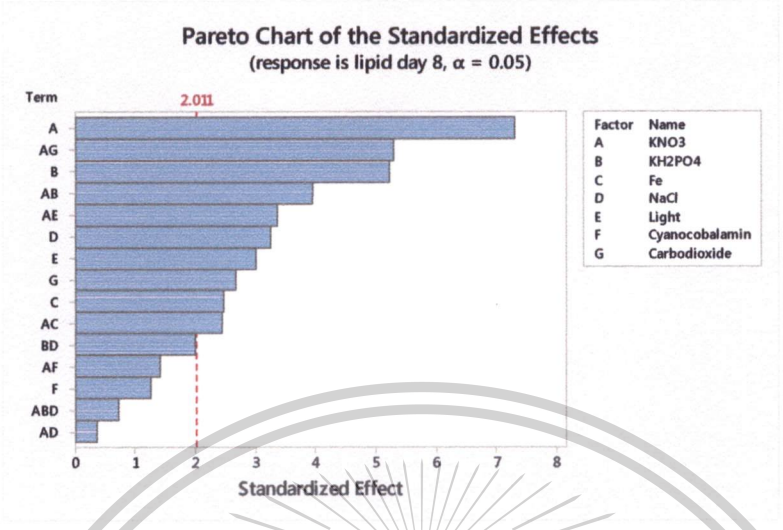
4.1.2. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*



ภาพที่ 4.15 ผลผลิตน้ำมันในวันที่ 4 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

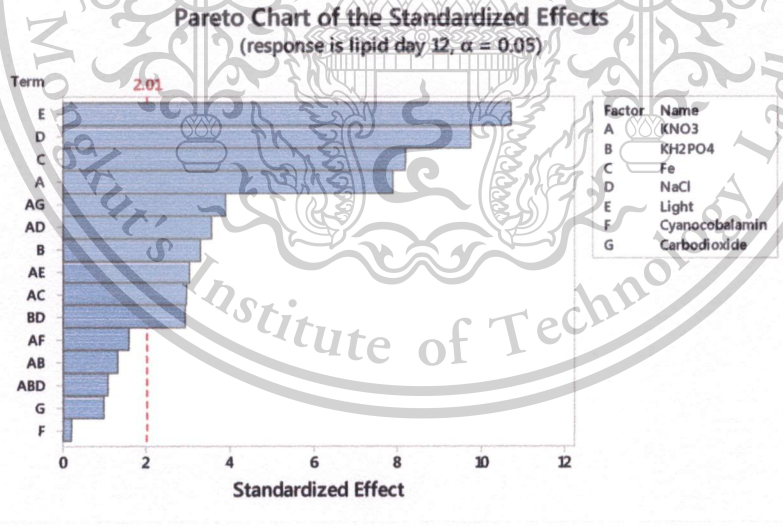
จากการวิเคราะห์ผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* ในวันที่ 4 ด้วยโปรแกรม minitab17 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำมันคือ KNO_3, KNO_3*carbondioxide, light intensity, KNO_3*light intensity, KNO_3*Fe, KH_2PO_4, KH_2PO_4*NaCl, KNO_3*cyanocobalamin, cyanocobalamin, KNO_3*KH_2PO_4, Fe และ NaCl ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.16 ผลผลิตน้ำมันในวันที่ 8 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

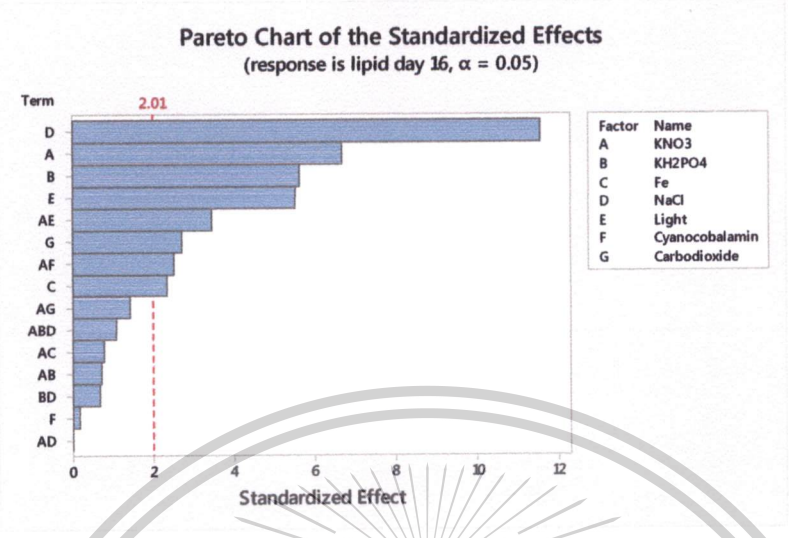
จากการวิเคราะห์ผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* ในวันที่ 8 ด้วยโปรแกรม minitab17 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำมันคือ KNO_3, KNO_3*carbondioxide, KH_2PO_4, KNO_3 *KH_2PO_4, KNO_3*light intensity, NaCl, light intensity, carbondioxide, Fe และ KNO_3*Fe



ภาพที่ 4.17 ผลผลิตน้ำมันในวันที่ 12 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

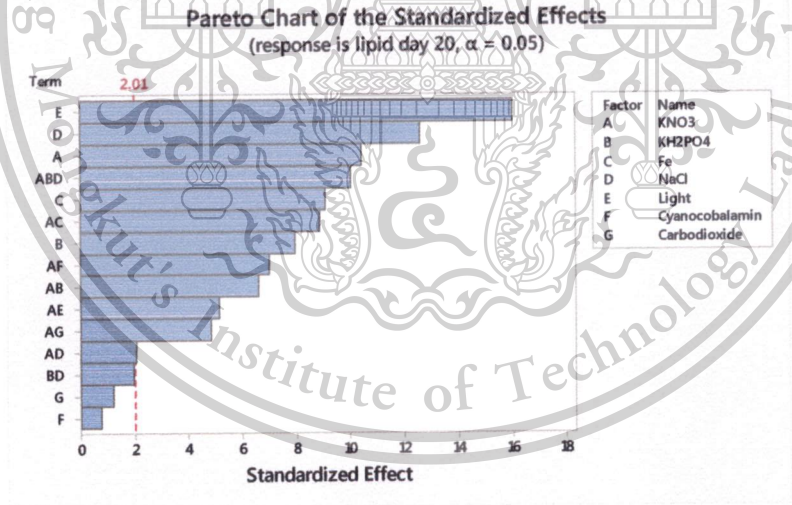
จากการวิเคราะห์ผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* ในวันที่ 12 ด้วยโปรแกรม minitab17 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำมันคือ light intensity, NaCl, Fe, KNO_3, KNO_3*carbondioxide, KNO_3*NaCl, KH_2PO_4, KNO_3*light intensity, KNO_3*Fe และ KH_2PO_4*NaCl

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.18 ผลผลิตน้ำมันในวันที่ 16 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

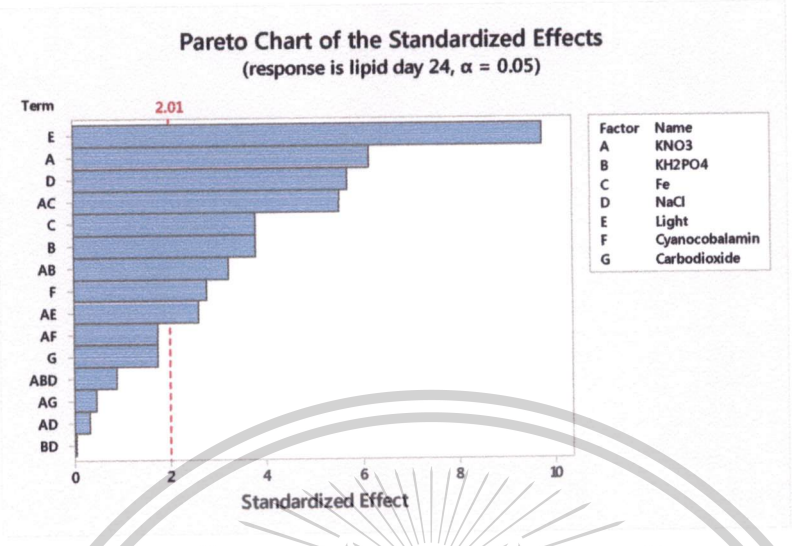
จากการวิเคราะห์ผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* ในวันที่ 16 ด้วยโปรแกรม minitab17 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำมันคือ NaCl, KNO_3, KH_2PO_4, light intensity, KNO_3*light intensity, carbondioxide, KNO_3*cyanocobalamin และ Fe



ภาพที่ 4.19 ผลผลิตน้ำมันในวันที่ 20 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

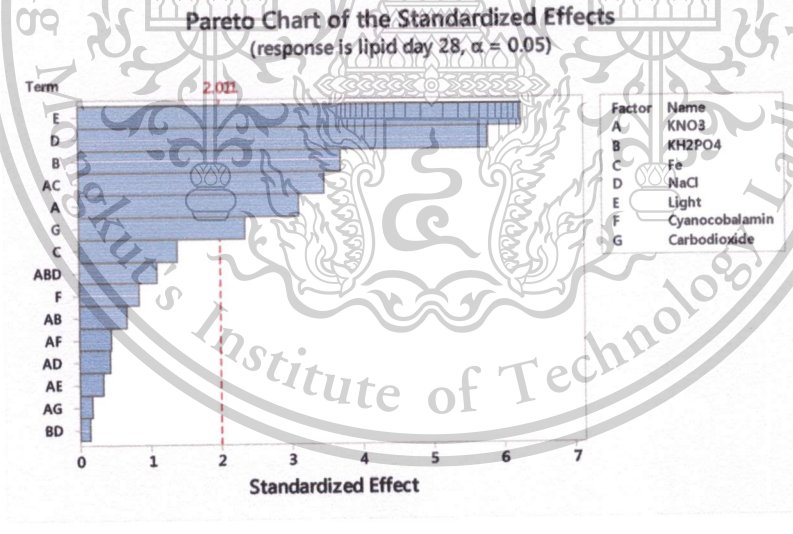
จากการวิเคราะห์ผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* ในวันที่ 20 ด้วยโปรแกรม minitab17 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำมันคือ light intensity, NaCl, KNO_3, KNO_3*KH_2PO_4*NaCl, Fe, KNO_3*Fe, KH_2PO_4, KNO_3*cyanocobalamin, KNO_3*KH_2PO_4, KNO_3*light intensity และ KNO_3*carbondioxide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.20 ผลผลิตน้ำมันในวันที่ 24 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

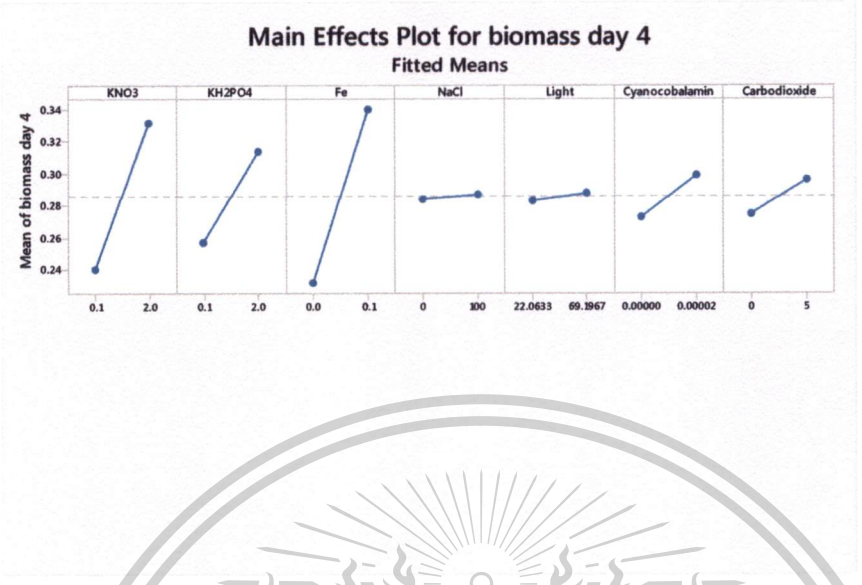
จากการวิเคราะห์ผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* ในวันที่ 24 ด้วยโปรแกรม minitab17 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำมันคือ light intensity, KNO_3, NaCl, KNO_3*Fe, Fe, KH_2PO_4, KNO_3*KH_2PO_4, cyanocobalamin และ KNO_3*light intensity



ภาพที่ 4.21 ผลผลิตน้ำมันในวันที่ 28 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

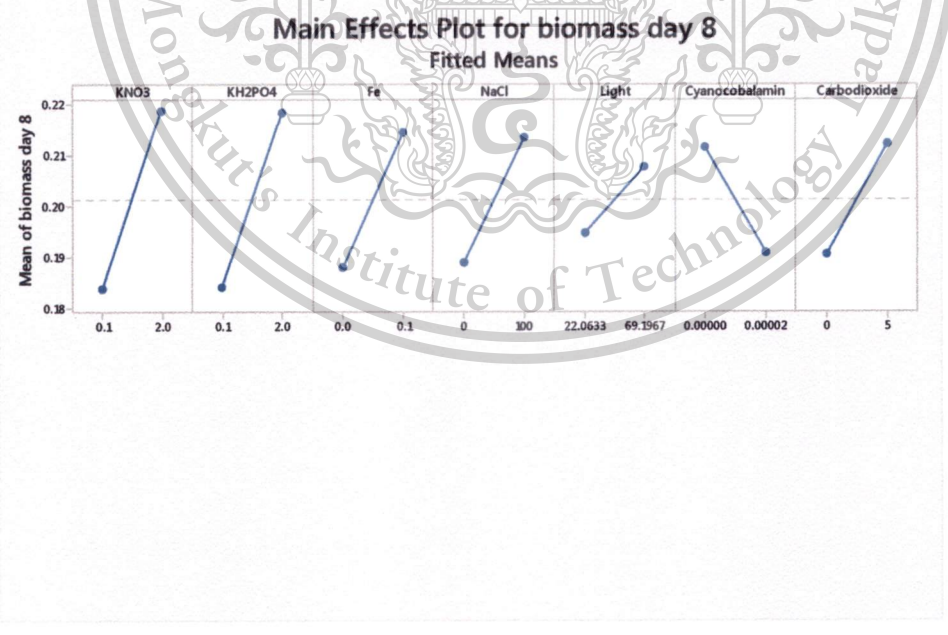
จากการวิเคราะห์ผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* ในวันที่ 28 ด้วยโปรแกรม minitab17 พบว่า ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำมันคือ light intensity, NaC,l KH_2PO_4, KNO_3*Fe, KNO_3 และ carbondioxide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.22 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 4 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

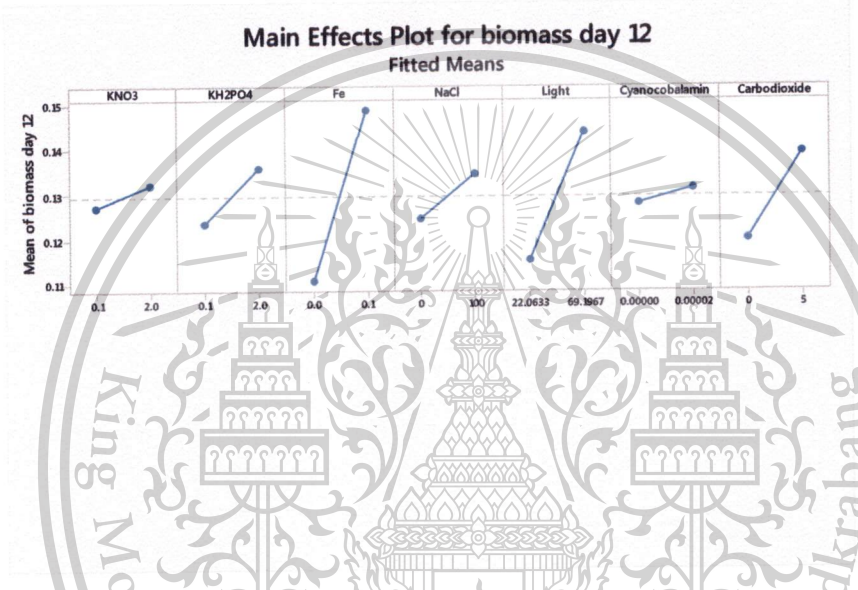
จากผลผลิตชีวมวลในวันที่ 4 พบว่าปัจจัยทั้งหมดที่ทดลองมีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวลในเชิงบวก คือ เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตชีวมวลจะเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาจากเส้นความชันของกราฟ KNO_3, KH_2PO_4 และ Fe มีอิทธพลมากต่อผลผลิตชีวมวล แสดงจากระดับความชันของกราฟยิ่งค่าความชันสูง หมายถึงปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลสูงต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายในวันที่4



ภาพที่ 4.23 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 8 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากผลผลิตชีวมวลในวันที่ 8 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวลในเชิงบวก คือ KNO_3, KH_2PO_4, Fe, NaCl, light intensity และ carbondioxide เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตชีวมวลจะเพิ่มขึ้น ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวลในเชิงลบ cyanocobalamin คือ เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตชีวมวลจะลดลง และเมื่อพิจารณาจากเส้นความชันของกราฟ KNO_3, KH_2PO_4, Fe, NaCl, light intensity, cyanocobalamin และ carbondioxide มีอิทธพลมากต่อผลผลิตชีวมวล แสดงจากระดับความชันของกราฟยิ่งค่าความชันสูง หมายถึงปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลสูงต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายในวันที่ 8

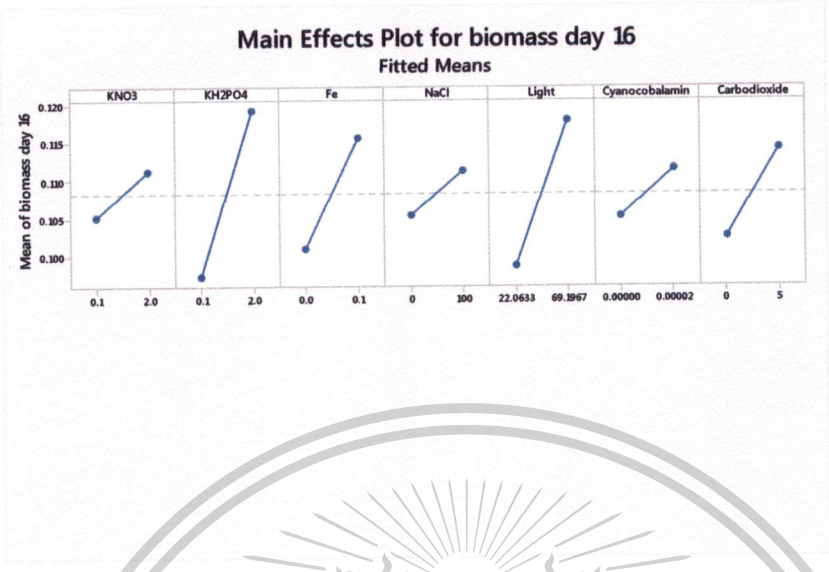


ภาพที่ 4.24 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 12 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

จากผลผลิตชีวมวลในวันที่ 12 พบว่าปัจจัยทดลองทั้งหมดมีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวลในเชิงบวก คือ KNO_3, KH_2PO_4, Fe, NaCl, light intensity, cyanocobalamin และ carbondioxide เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตชีวมวลจะเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาจากเส้นความชันของกราฟ Fe, light intensity และ carbondioxide มีอิทธพลมากต่อผลผลิตชีวมวล แสดงจากระดับความชันของกราฟยิ่งค่าความชันสูง หมายถึงปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลสูงต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายในวันที่ 12

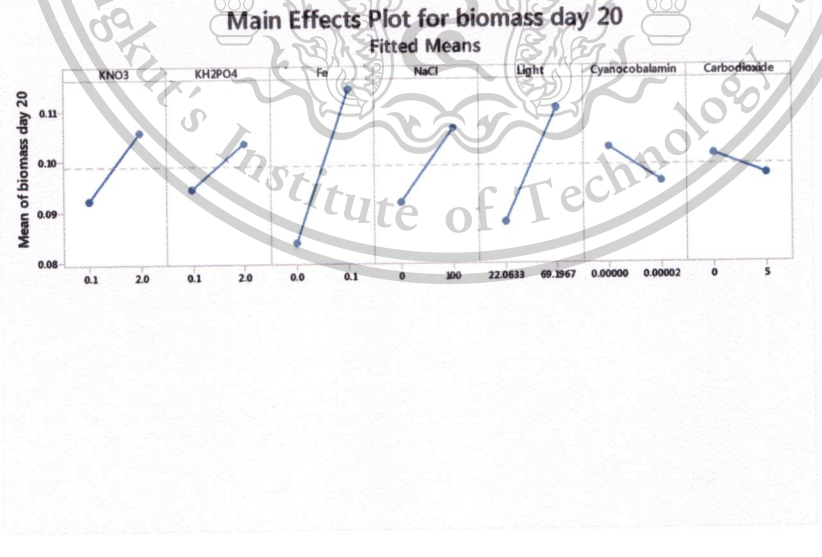
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.25 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 16 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

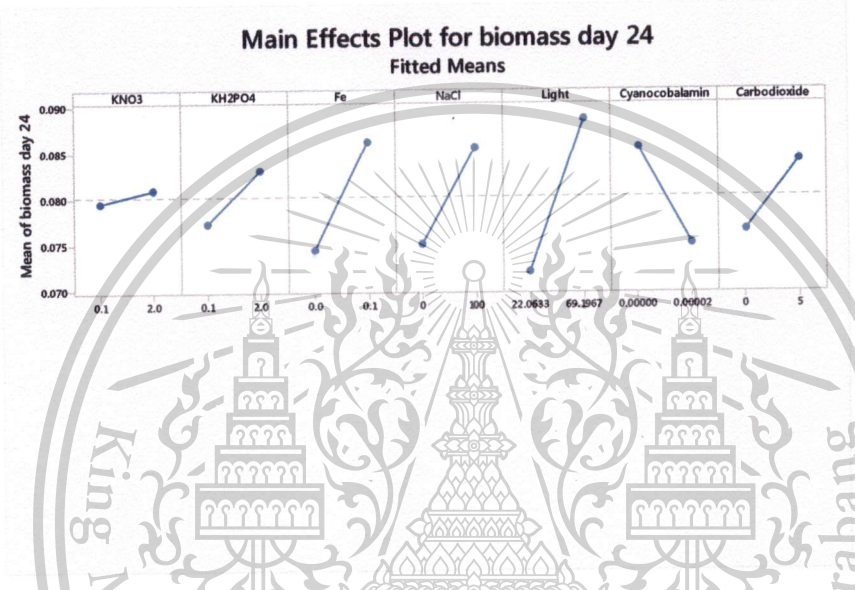
จากผลผลิตชีวมวลในวันที่ 16 พบว่าปัจจัยทดลองทั้งหมดมีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวลในเชิงบวก คือ KNO_3, KH_2PO_4, Fe, NaCl, light intensity, cyanocobalamin และ carbondioxide เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตชีวมวลจะเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาจากเส้นความชันของกราฟ KH_2PO_4, Fe, light intensity และ carbondioxide มีอิทธพลมากต่อผลผลิตชีวมวล แสดงจากระดับความชันของกราฟยิ่งค่าความชันสูง หมายถึงปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลสูงต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายในวันที่ 16



ภาพที่ 4.26 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 20 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

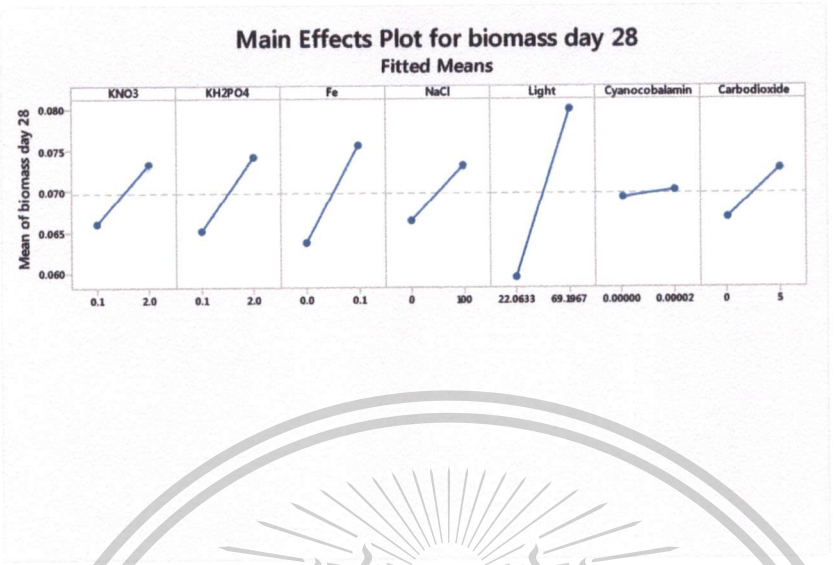
จากผลผลิตชีวมวลในวันที่ 20 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวลในเชิงบวก คือ KNO_3, KH_2PO_4, Fe, NaCl และ light intensity เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตชีวมวลจะเพิ่มขึ้น ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวลในเชิงลบ cyanocobalamin และ carbondioxide คือ เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตชีวมวลจะลดลง และเมื่อพิจารณาจากเส้นความชันของกราฟ Fe และ light intensity มีอิทธพลมากต่อผลผลิตชีวมวล แสดงจากระดับความชันของกราฟยิ่งค่าความชันสูง หมายถึงปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลสูงต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายในวันที่ 20



ภาพที่ 4.27 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 24 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

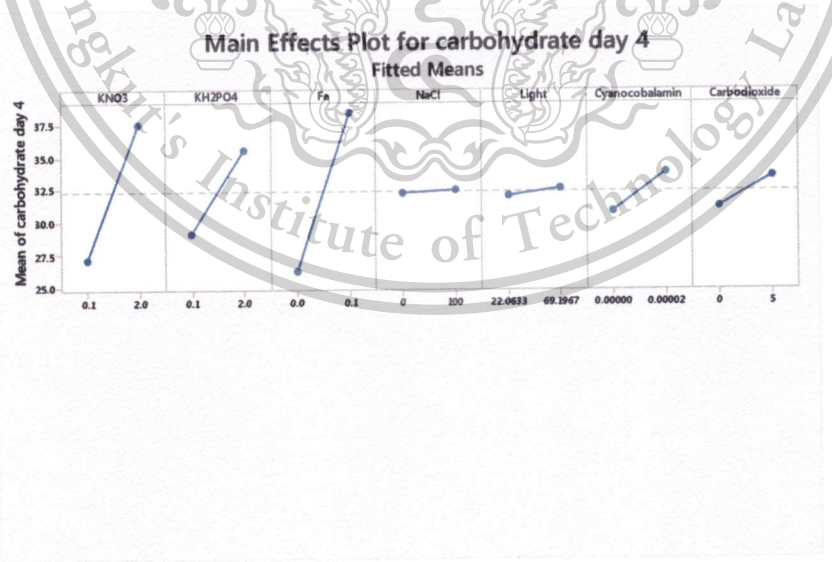
จากผลผลิตชีวมวลในวันที่ 24 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวลในเชิงบวก คือ KNO_3, KH_2PO_4, Fe, NaCl, light intensity และ carbondioxide เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตชีวมวลจะเพิ่มขึ้น ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวลในเชิงลบ cyanocobalamin คือ เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยจะส่งผลให้ผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายลดลง และเมื่อพิจารณาจากเส้นความชันของกราฟ Fe, NaCl, light intensity และ cyanocobalamin มีอิทธพลมากต่อผลผลิตชีวมวล แสดงจากระดับความชันของกราฟยิ่งค่าความชันสูง หมายถึงปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลสูงต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายในวันที่ 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.28 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 28 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

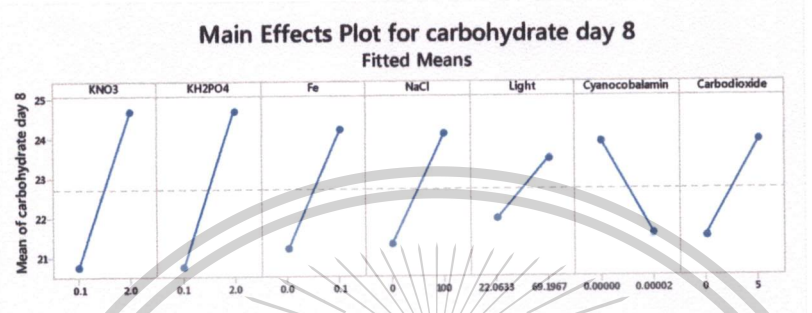
จากผลผลิตชีวมวลในวันที่ 28 พบว่าปัจจัยทั้งหมดที่ทดลองคือ KNO_3, KH_2PO_4, Fe, NaCl, light intensity, cyanocobalamin และ carbondioxide มีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวลในเชิงบวก คือเมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตชีวมวลจะเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาความชันของเส้นกราฟและเมื่อพิจารณาจากเส้นความชันของกราฟ light intensity มีอิทธพลมากต่อผลผลิตชีวมวล แสดงจากระดับความชันของกราฟยิ่งค่าความชันสูง หมายถึงปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลสูงต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่ายในวันที่ 24



ภาพที่ 4.29 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 4 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

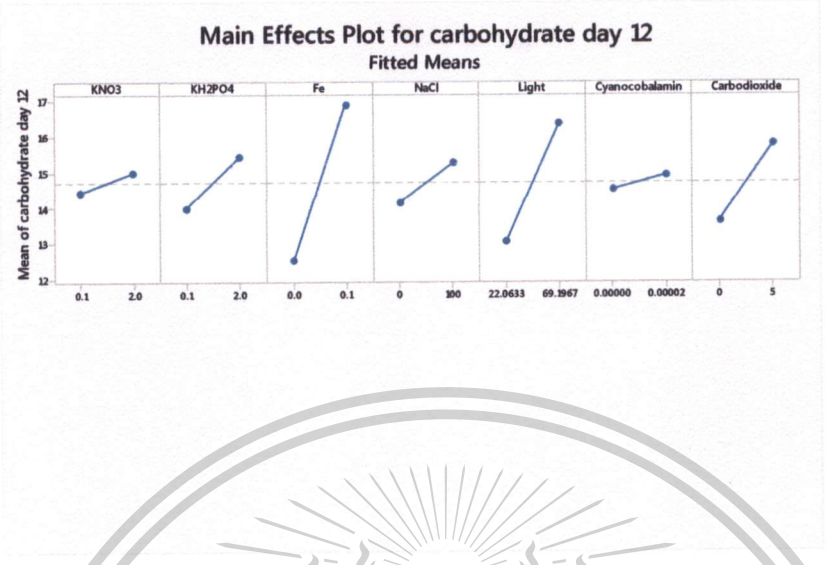
จากผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 4 พบว่าปัจจัยทั้งหมดที่ทดลองมีอิทธิพลต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในเชิงบวก คือเมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตคาร์โบไฮเดรตจะเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาจากเส้นความชันของกราฟ KNO_3, KH_2PO_4 และ Fe มีอิทธพลมากต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรต แสดงจากระดับความชันของกราฟยิ่งค่าความชันสูง หมายถึงปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลสูงต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายในวันที่ 4



ภาพที่ 4.30 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 8 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

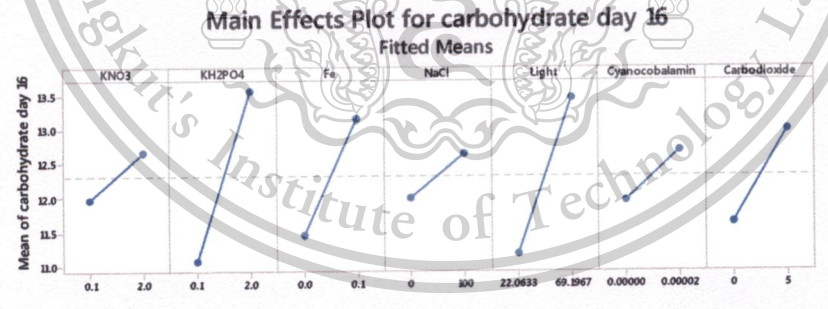
จากผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 8 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในเชิงบวก คือ KNO_3, KH_2PO_4, Fe, NaCl, light intensity และ carbondioxide เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตคาร์โบไฮเดรตจะเพิ่มขึ้น ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในเชิงลบ cyanocobalamin คือ เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตคาร์โบไฮเดรตจะลดลงและเมื่อพิจารณาจากเส้นความชันของกราฟ KNO_3, KH_2PO_4, Fe, NaCl, cyanocobalamin และ carbondioxide มีอิทธพลมากต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรต แสดงจากระดับความชันของกราฟยิ่งค่าความชันสูง หมายถึงปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลสูงต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายในวันที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.31 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 12 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

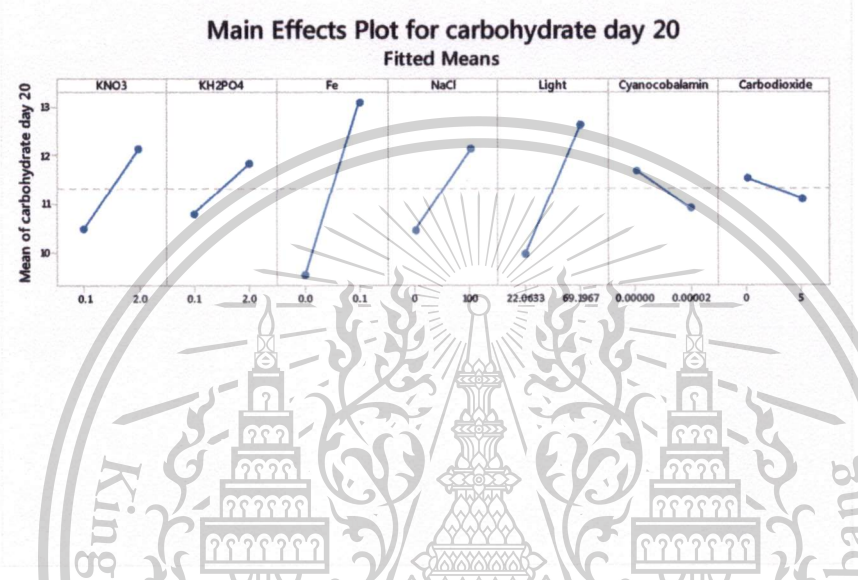
จากผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 12 พบว่าปัจจัยทั้งหมดที่ทดลองมีอิทธิพลต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในเชิงบวก คือเมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตคาร์โบไฮเดรตจะเพิ่มขึ้นและเมื่อพิจารณาจากเส้นความชันของกราฟ Fe, light intensity และ carbondioxide มีอิทธพลมากต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรต แสดงจากระดับความชันของกราฟยิ่งค่าความชันสูง หมายถึงปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลสูงต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายในวันที่ 12



ภาพที่ 4.32 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 16 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

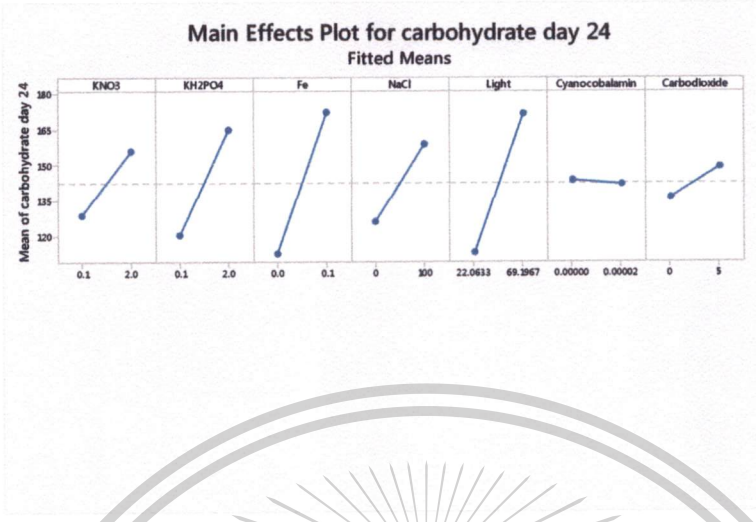
จากผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 16 พบว่าปัจจัยทั้งหมดที่ทดลองมีอิทธิพลต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในเชิงบวก คือเมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตคาร์โบไฮเดรตจะเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาจากเส้นความชันของกราฟ KH_2PO_4, Fe, light intensity และ carbondioxide มีอิทธพลมากต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรต แสดงจากระดับความชันของกราฟยิ่งค่าความชันสูง หมายถึงปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลสูงต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายในวันที่ 16



ภาพที่ 4.33 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 20 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

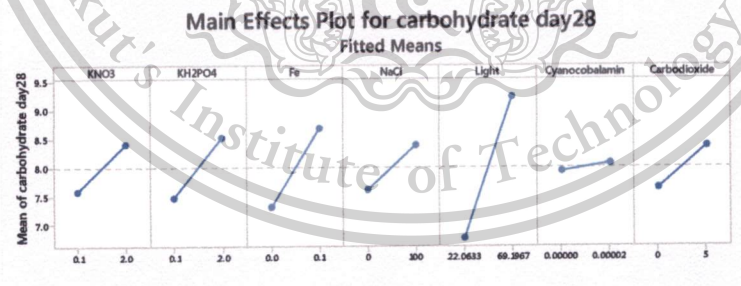
จากผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 20 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในเชิงบวก คือ KNO_3, KH_2PO_4, Fe, NaCl และ light intensity เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตคาร์โบไฮเดรตจะเพิ่มขึ้น ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวลในเชิงลบ cyanocobalamin และ carbondioxide คือ เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตคาร์โบไฮเดรตจะลดลงเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาจากเส้นความชันของกราฟ KNO_3, Fe, NaCl และ light intensity มีอิทธพลมากต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรต แสดงจากระดับความชันของกราฟยิ่งค่าความชันสูง หมายถึงปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลสูงต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายในวันที่ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.34 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 24 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

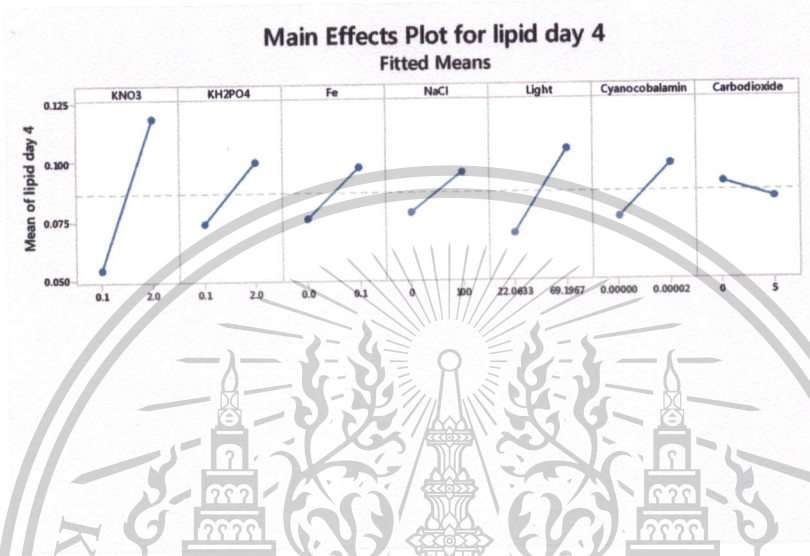
จากผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 24 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในเชิงบวก คือ KNO_3, KH_2PO_4, Fe, NaCl, light intensity และ carbondioxide เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตคาร์โบไฮเดรตจะเพิ่มขึ้น ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวลในเชิงลบ cyanocobalamin คือ เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตคาร์โบไฮเดรตจะลดลงและเมื่อพิจารณาจากเส้นความชันของกราฟ KNO_3, KH_2PO_4, Fe, NaCl และ light intensity มีอิทธิพลมากต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรต แสดงจากระดับความชันของกราฟยิ่งค่าความชันสูง หมายถึงปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลสูงต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายในวันที่ 24



ภาพที่ 4.35 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 28 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

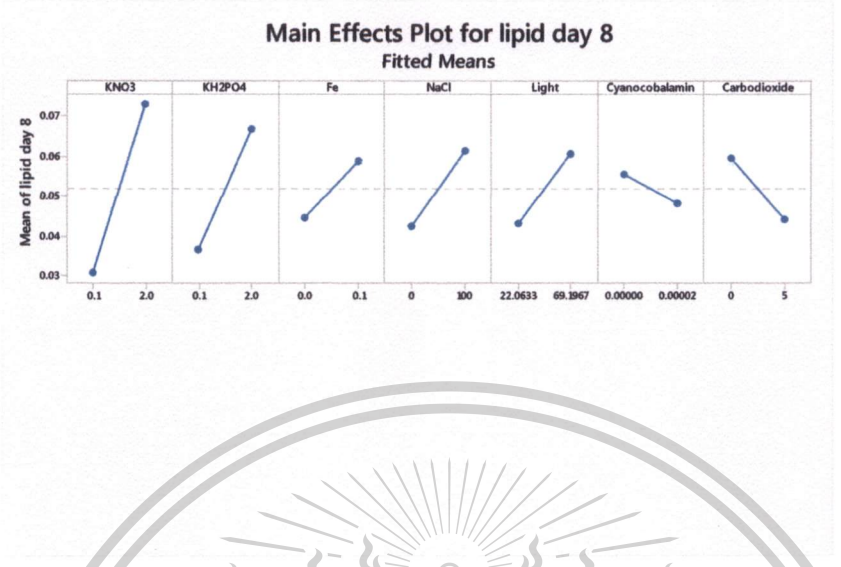
จากผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 28 พบว่าปัจจัยทั้งหมดที่ทดลองมีอิทธิพลต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในเชิงบวก คือเมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตคาร์โบไฮเดรตจะเพิ่มขึ้นและเมื่อพิจารณาจากเส้นความชันของกราฟ light intensity มีอิทธพลมากต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรต แสดงจากระดับความชันของกราฟยิ่งค่าความชันสูง หมายถึงปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลสูงต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่ายในวันที่ 28



ภาพที่ 4.36 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 4ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

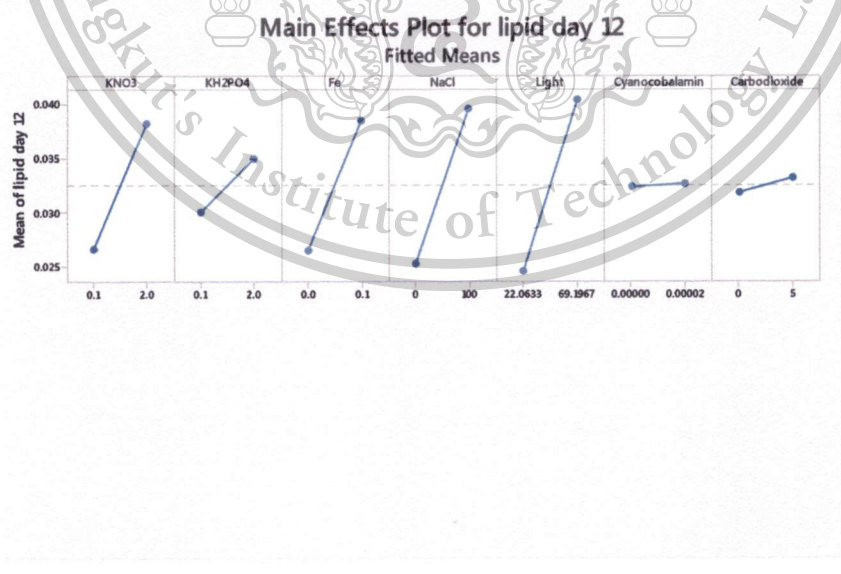
จากผลผลิตน้ำมันในวันที่ 4 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำมันในเชิงบวก คือ KNO_3, KH_2PO_4, Fe, NaCl, light intensity และ cyanocobalamin เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตน้ำมันจะเพิ่มขึ้น ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำมันในเชิงลบ carbondioxide คือ เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตน้ำมันจะลดลงและเมื่อพิจารณาจากเส้นความชันของกราฟ KNO_3 และ light intensity มีอิทธพลมากต่อผลผลิตน้ำมัน แสดงจากระดับความชันของกราฟยิ่งค่าความชันสูง หมายถึงปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลสูงต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่ายในวันที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.37 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 8 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

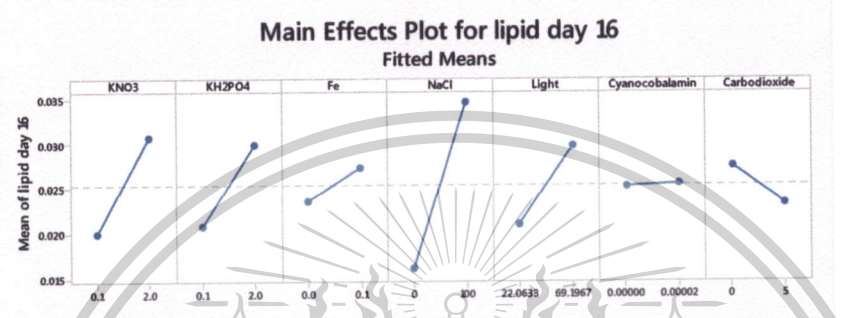
จากผลผลิตน้ำมันในวันที่ 8 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำมันในเชิงบวก คือ KNO_3, KH_2PO_4, Fe, NaCl และ light intensity เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตน้ำมันจะเพิ่มขึ้น ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำมันในเชิงลบ carbondioxide และ cyanocobalamin คือ คือ เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตน้ำมันจะลดลงและเมื่อพิจารณาจากเส้นความชันของกราฟ KNO_3 และ KH_2PO_4 มีอิทธิพลมากต่อผลผลิตน้ำมัน แสดงจากระดับความชันของกราฟยิ่งค่าความชันสูง หมายถึงปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลสูงต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่ายในวันที่ 8



ภาพที่ 4.38 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 12 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

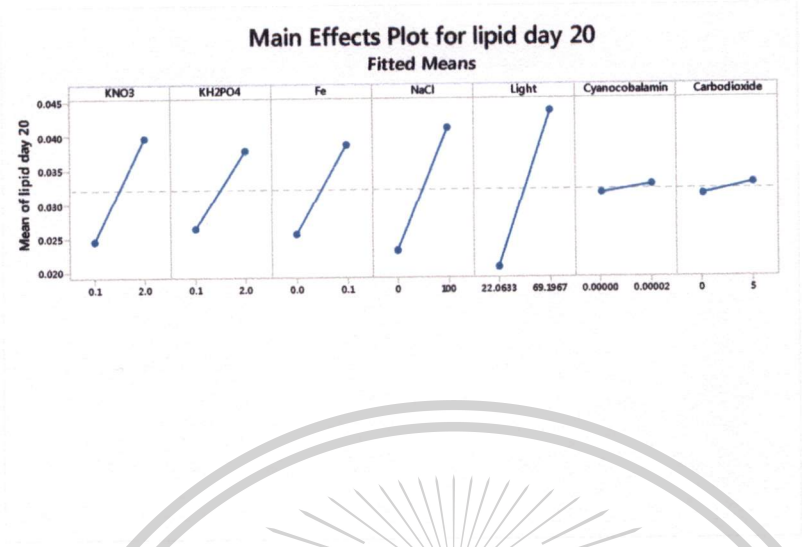
จากผลผลิตน้ำมันในวันที่ 12 พบว่าปัจจัยทั้งหมดที่ทดลองมีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำมันในเชิงบวก คือ เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตน้ำมันจะเพิ่มขึ้นคือ เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตน้ำมันจะลดลงและเมื่อพิจารณาจากเส้นความชันของกราฟ KNO_3, Fe, NaCl และ light intensity มีอิทธพลมากต่อผลผลิตน้ำมัน แสดงจากระดับความชันของกราฟยิ่งค่าความชันสูง หมายถึงปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลสูงต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่ายในวันที่ 12



ภาพที่ 4.39 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 16 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

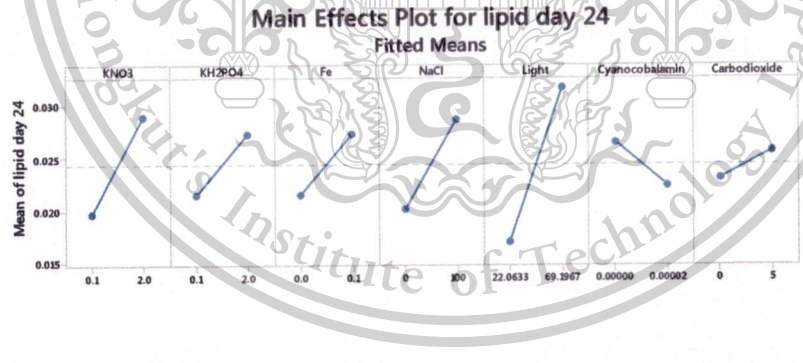
จากผลผลิตน้ำมันในวันที่ 16 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำมันในเชิงบวก คือ KNO_3, KH_2PO_4, Fe, NaCl, light intensity และ cyanocobalamin เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตน้ำมันจะเพิ่มขึ้น ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำมันในเชิงลบ carbondioxide คือ คือ เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตน้ำมันจะลดลงและเมื่อพิจารณาจากเส้นความชันของกราฟ KNO_3, KH_2PO_4, NaCl และ light intensity มีอิทธพลมากต่อผลผลิตน้ำมัน แสดงจากระดับความชันของกราฟยิ่งค่าความชันสูง หมายถึงปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลสูงต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่ายในวันที่ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.40 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 20 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

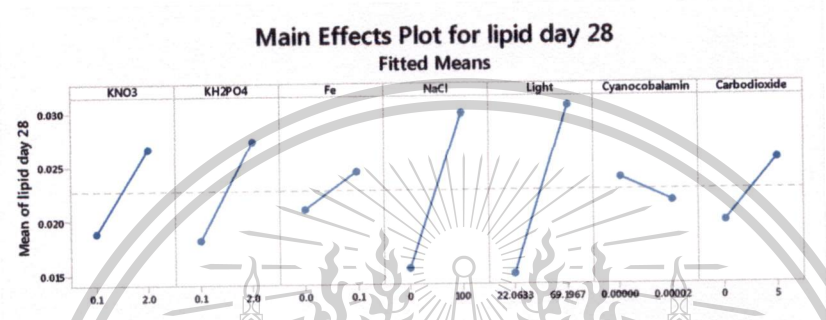
จากผลผลิตน้ำมันในวันที่ 20 พบว่าปัจจัยทั้งหมดที่ทดลองมีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำมันในเชิงบวก คือ เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตน้ำมันจะเพิ่มขึ้นคือ เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตน้ำมันจะลดลงและเมื่อพิจารณาจากเส้นความชันของกราฟ KNO_3, KH_2PO_4, Fe, NaCl, light intensity, cyanocobalamin และ carbondioxide มีอิทธพลมากต่อผลผลิตน้ำมัน แสดงจากระดับความชันของกราฟยิ่งค่าความชันสูงหมายถึงปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลสูงต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่ายในวันที่ 20



ภาพที่ 4.41 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 24 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากผลผลิตน้ำมันในวันที่ 16 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำมันในเชิงบวก คือ KNO_3, KH_2PO_4, Fe, NaCl, light intensity และ carbondioxide เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตน้ำมันจะเพิ่มขึ้น ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำมันในเชิงลบ cyanocobalamin คือ เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตน้ำมันจะลดลงคือ เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตน้ำมันจะลดลงและเมื่อพิจารณาจากเส้นความชันของกราฟ KNO_3, NaCl และ light intensity มีอิทธพลมากต่อผลผลิตน้ำมัน แสดงจากระดับความชันของกราฟยิ่งค่าความชันสูง หมายถึงปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลสูงต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่ายในวันที่ 24



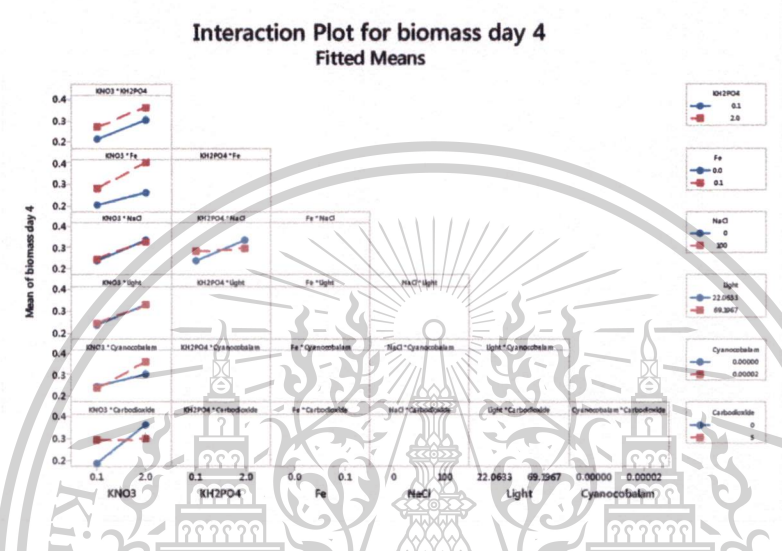
ภาพที่ 4.42 อิทธิพลของปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 28 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

จากผลผลิตน้ำมันในวันที่ 28 พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำมันในเชิงบวก คือ KNO_3, KH_2PO_4, Fe, NaCl, light intensity และ carbondioxide เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตน้ำมันจะเพิ่มขึ้น ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตน้ำมันในเชิงลบ cyanocobalamin คือ เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตน้ำมันจะลดลงคือ เมื่อเพิ่มปริมาณของปัจจัยผลผลิตน้ำมันจะลดลงและเมื่อพิจารณาจากเส้นความชันของกราฟ KNO_3, KH_2PO_4, NaCl, light intensity และ carbondioxide มีอิทธพลมากต่อผลผลิตน้ำมัน แสดงจากระดับความชันของกราฟยิ่งค่าความชันสูง หมายถึงปัจจัยดังกล่าวมีอิทธิพลสูงต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่ายในวันที่ 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

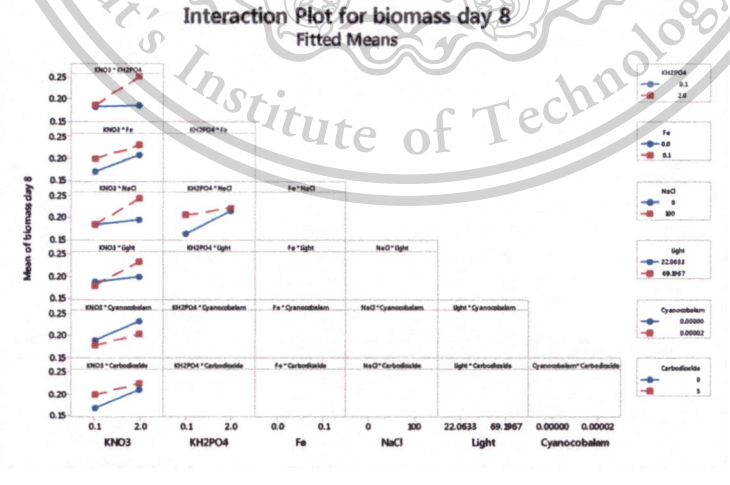
4.2. อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวล ผลผลิตคาร์โบไฮเดรต และผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

4.2.1.อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*



ภาพที่ 4.43อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 4 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

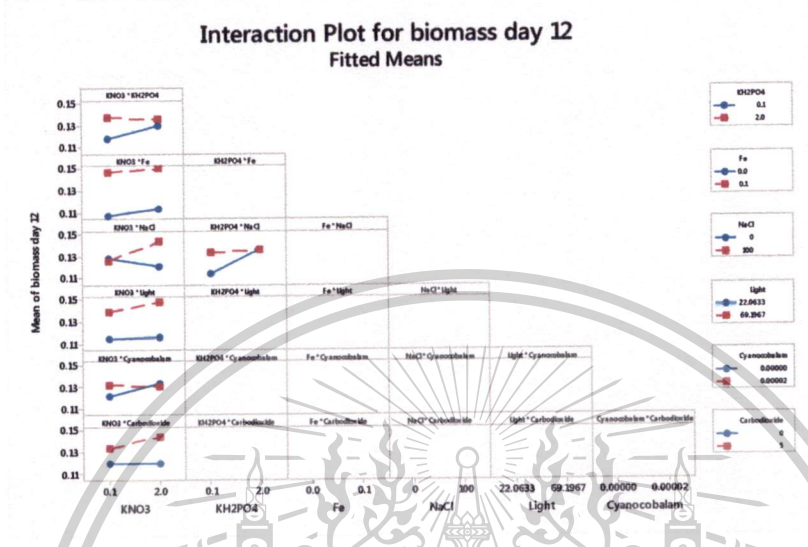
จากภาพ อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลผลิตชีวมวลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ KNO_3*carbondioxide และ KH_2PO_4*NaCl



ภาพที่ 4.44 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 8 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

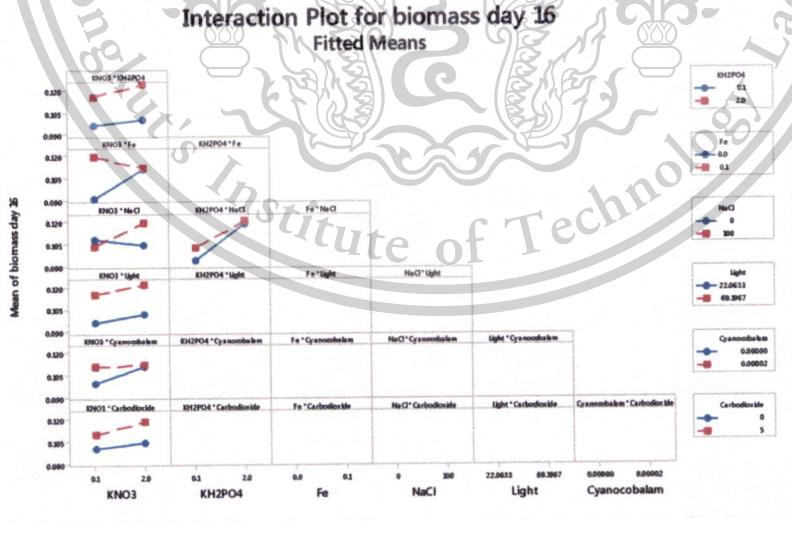
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากภาพอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลผลิตชีวมวลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ KNO_3*KH_2PO_4, KNO_3*NaCl และ KNO_3*light intensity



ภาพที่ 4.45 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 12 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

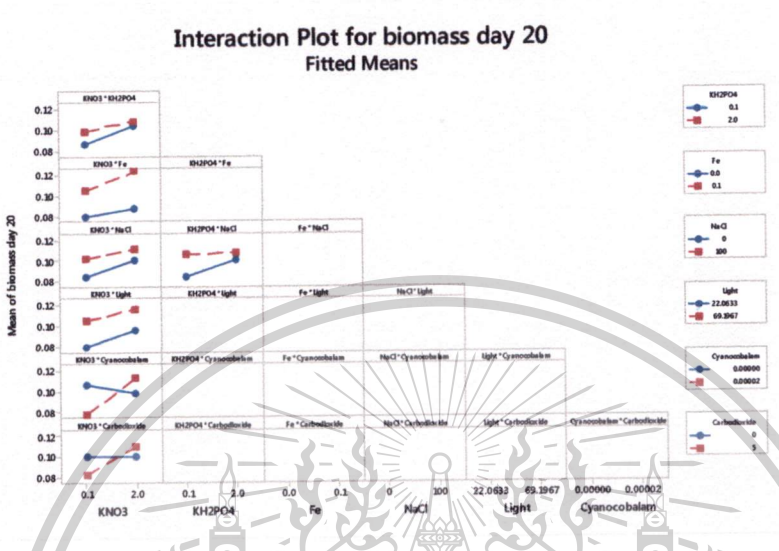
จากภาพอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลผลิตชีวมวลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ, KNO_3*NaCl และ KH_2PO_4*NaCl



ภาพที่ 4.46 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 16 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

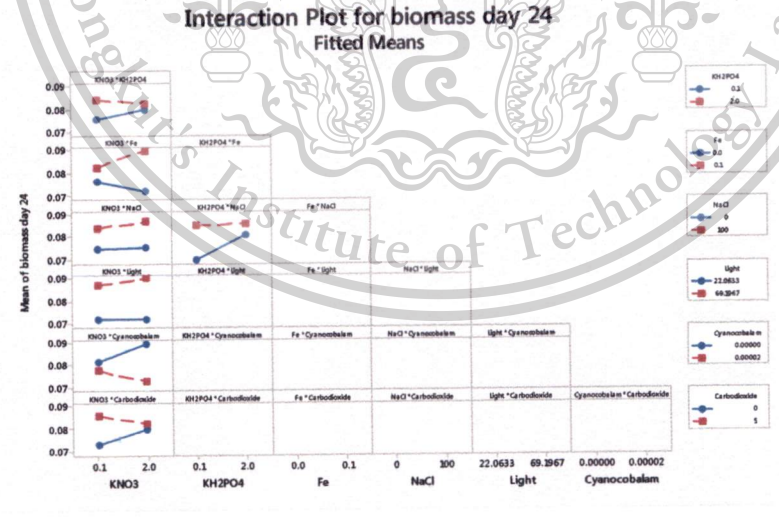
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากภาพอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลผลิตชีวมวลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ KNO_3*Fe และ KNO_3*NaCl



ภาพที่ 4.47 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 20 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

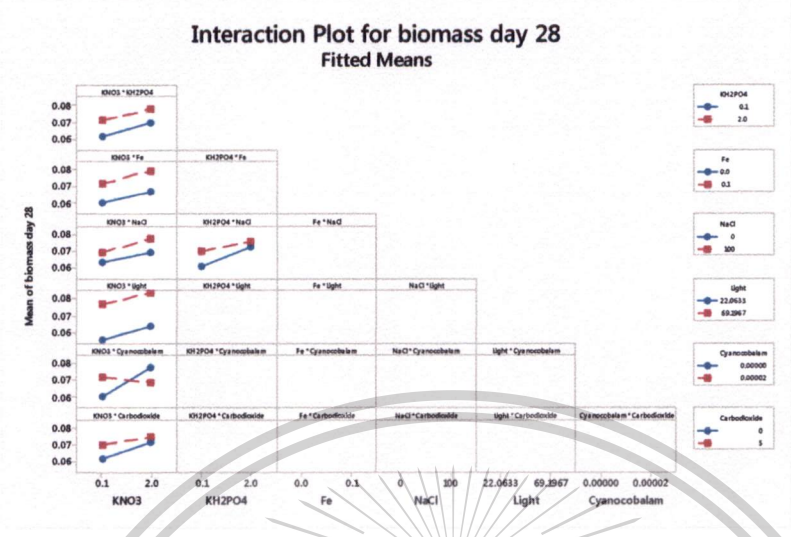
จากภาพอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลผลิตชีวมวลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ KNO_3*cyanocobalamin, KNO_3*carbondioxide และ KH_2PO_4*NaCl



ภาพที่ 4.48 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 24 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

จากภาพไม่มีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลผลิตชีวมวลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

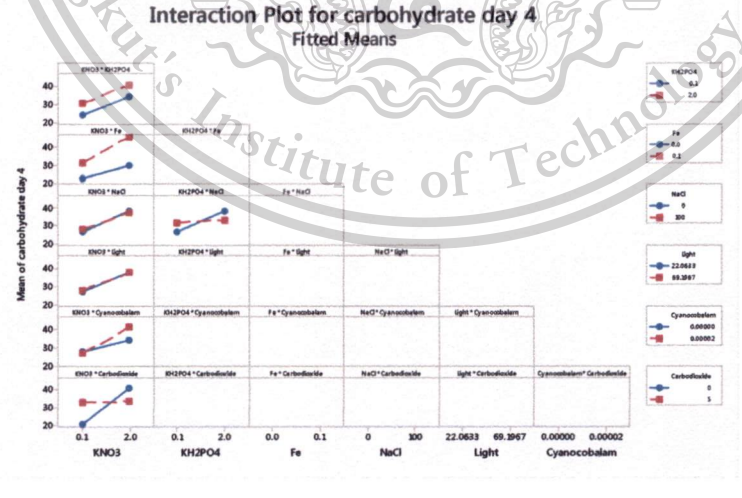
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.49 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 28 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

จากภาพอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลิตชีวมวลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ KNO_3*cyanocobalamin, KNO_3*carbondioxide และ KH_2PO_4*NaCl

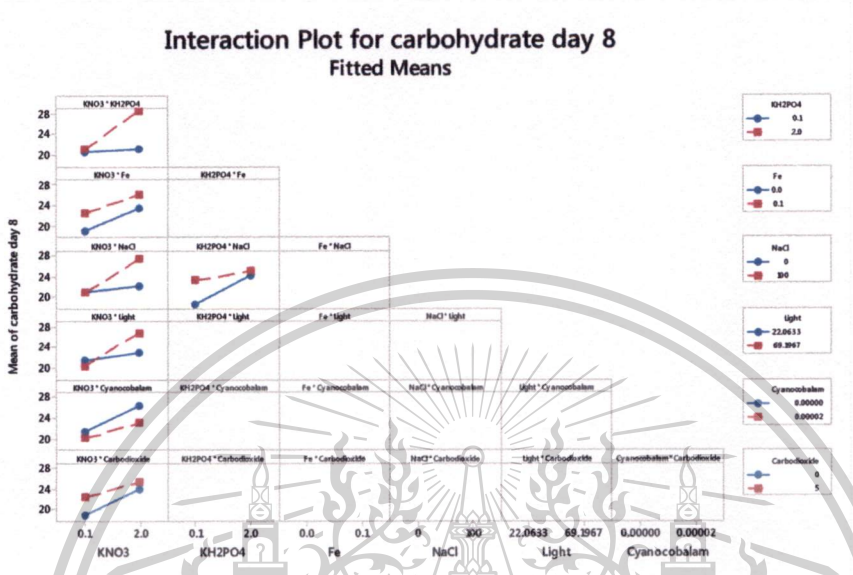
4.2.2.**อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda***



ภาพที่ 4.50 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 4 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

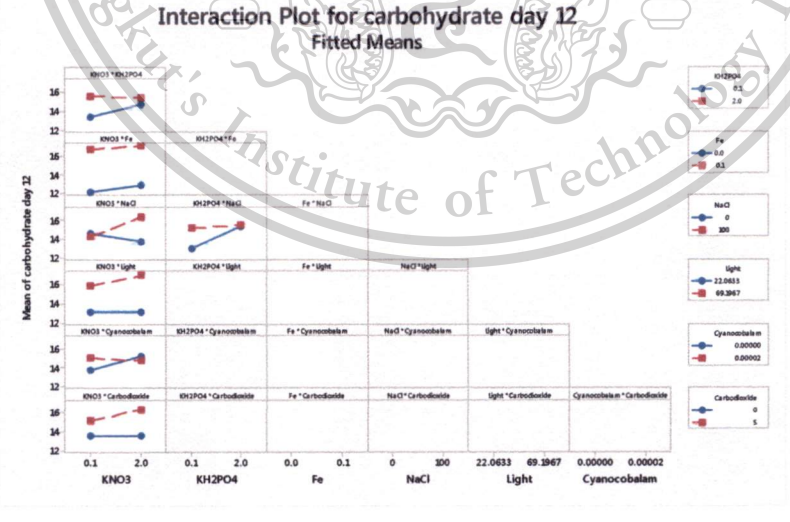
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากภาพอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลผลิตคาร์โบไฮเดรตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ KNO_3*carbondioxide และ KH_2PO_4*NaCl



ภาพที่ 4.51 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 8 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

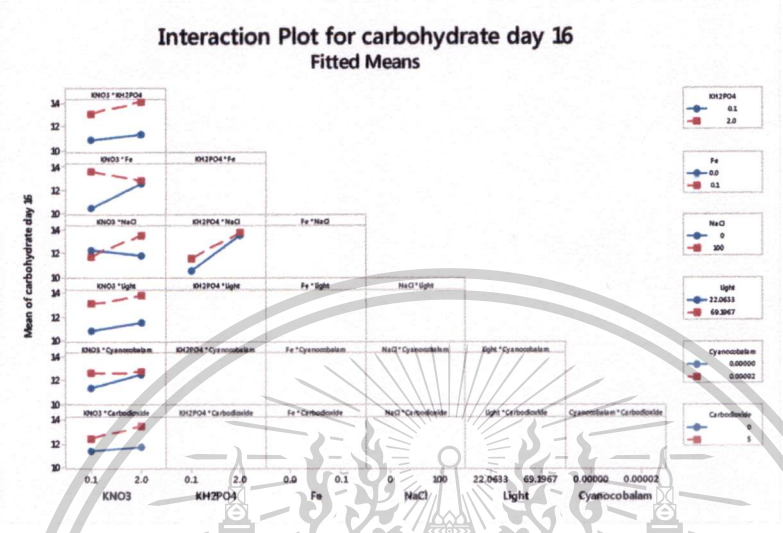
จากภาพอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลผลิตคาร์โบไฮเดรตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ KNO_3*KH_2PO_4, KNO_3*NaCl และ KNO_3*light intensity



ภาพที่ 4.52 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 12 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

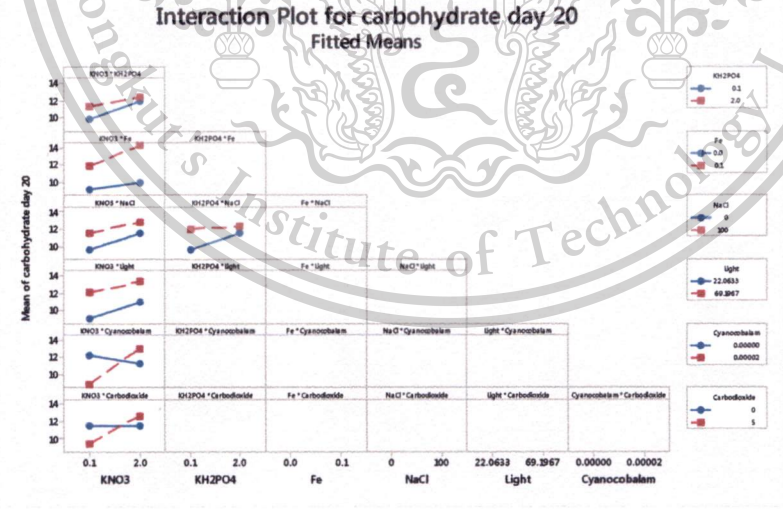
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากภาพ อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลผลิตคาร์โบไฮเดรตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ KNO_3*NaCl และ KH_2PO_4*NaCl



ภาพที่ 4.53 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 16 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

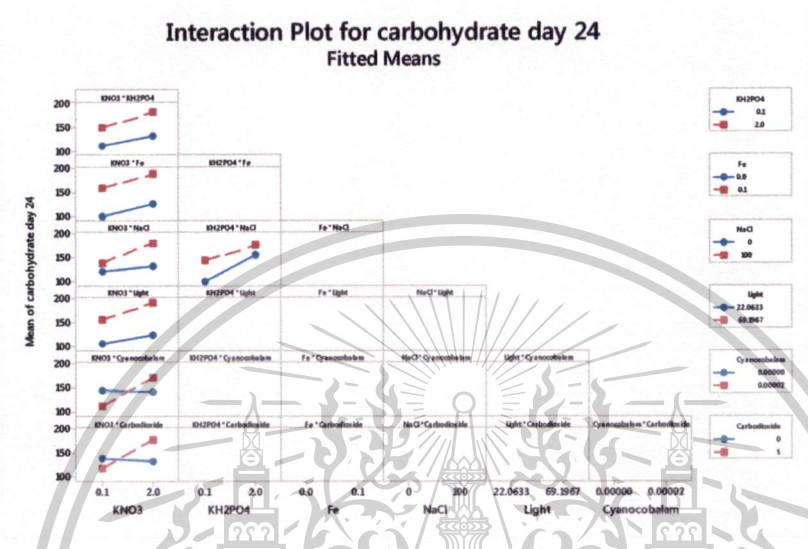
จากภาพอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลผลิตคาร์โบไฮเดรตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ KNO_3*Fe และ KNO_3*NaCl



ภาพที่ 4.54 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 20 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

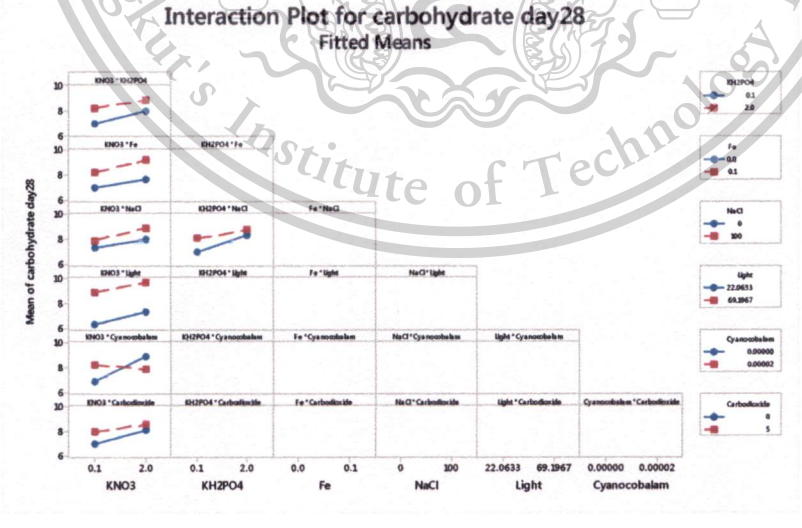
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากภาพอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลผลิตคาร์โบไฮเดรตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ KNO_3*cyanocobalamin, KNO_3*carbondioxide, KH_2PO_4* NaC,l cyanocobalamin*NaCl และ KNO_3* Fe



ภาพที่ 4.55 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 24 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

จากภาพอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลผลิตคาร์โบไฮเดรตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ KNO_3*carbondioxide, KNO_3*cyanocobalamin และ KNO_3 *NaCl

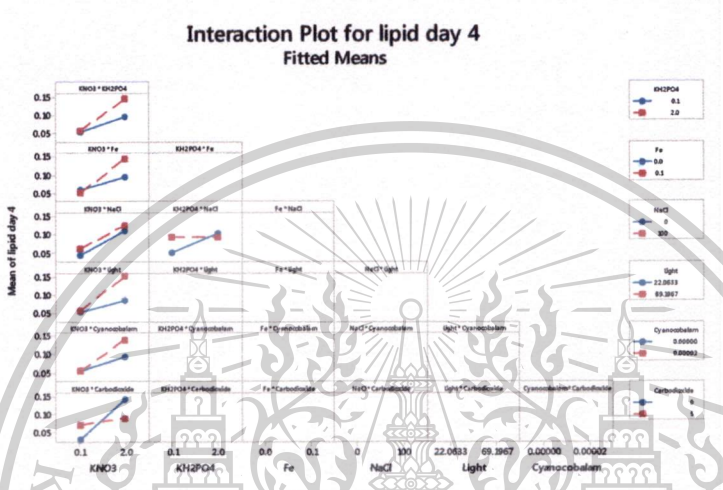


ภาพที่ 4.56 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตในวันที่ 28 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

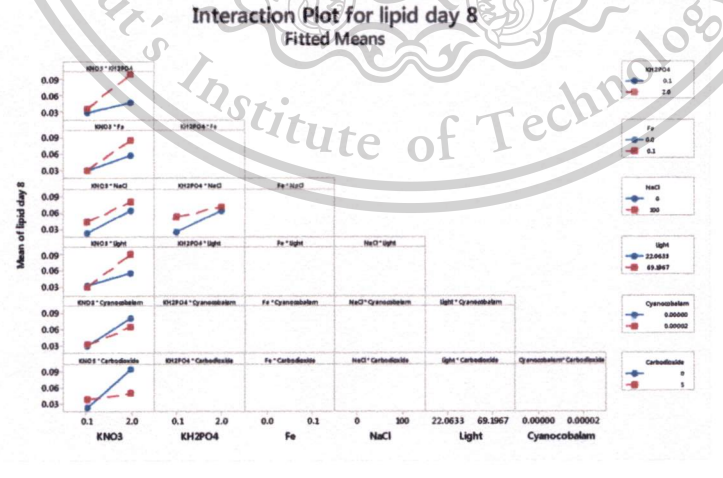
จากภาพอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลผลิตคาร์โบไฮเดรตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ KNO_3*carbondioxide, KNO_3*cyanocobalamin และ KNO_3 *NaCl

4.2.3.**อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda***



ภาพที่ 4.57 อิทธิพลระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 4 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

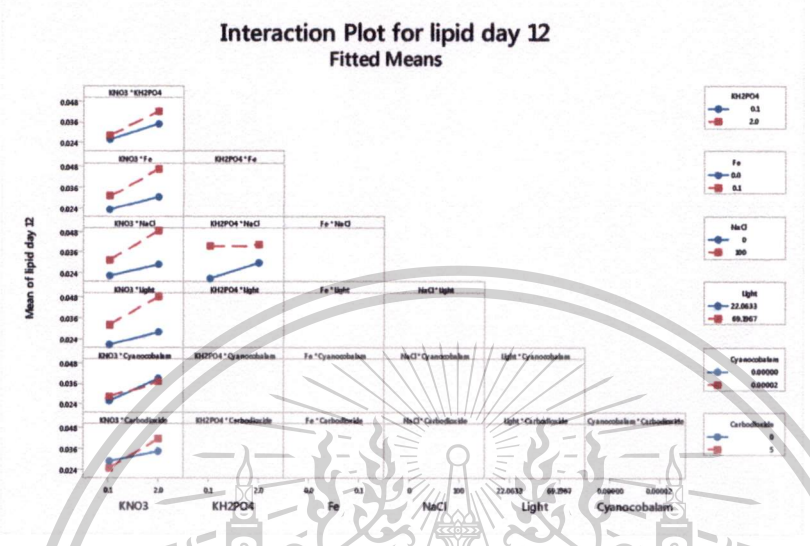
จากภาพอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลผลิตน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ KNO_3*carbondioxide, KNO_3*light intensity, KNO_3*Fe และ KNO_3*cyanocobalamin



ภาพที่ 4.58 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 8 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

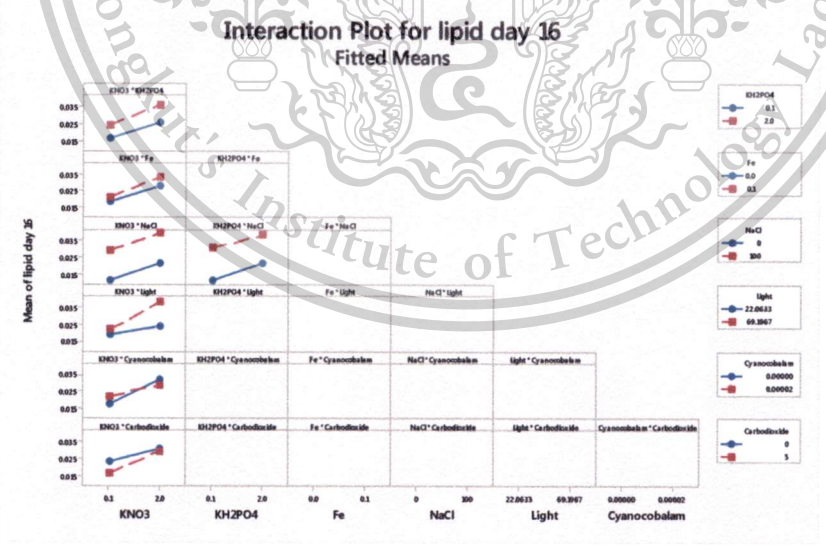
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากภาพอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลผลิตน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ KNO_3*carbondioxide, KNO_3 *KH_2PO_4 และ KNO_3*light intensity



ภาพที่ 4.59 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 12 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

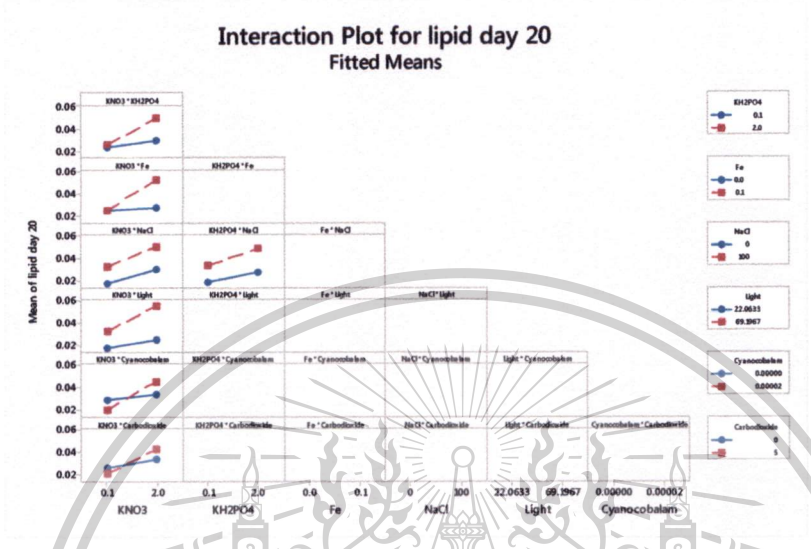
จากภาพอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลผลิตน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ KNO_3*carbondioxide, KNO_3*NaCl , KNO_3*light intensity, KNO_3*Fe และ KH_2PO_4*NaCl



ภาพที่ 4.60 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 16 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

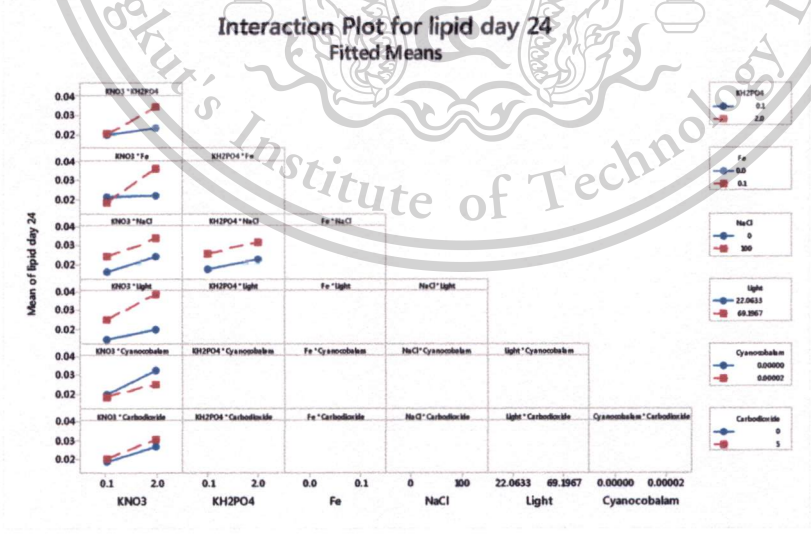
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากภาพอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลผลิตน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ KNO_3*light intensity และ KNO_3*cyanocobalamin



ภาพที่ 4.61 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันในวันที่ 20 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

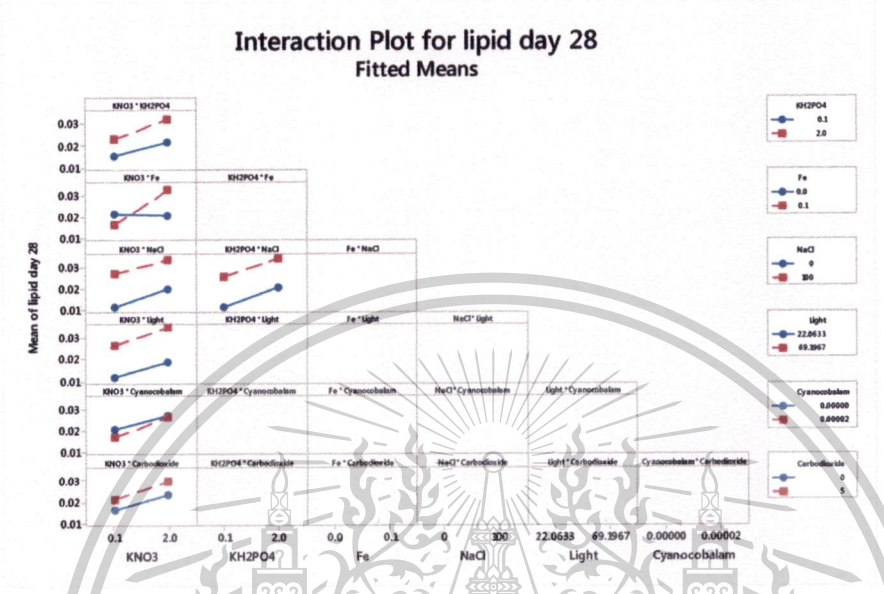
จากภาพอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลผลิตน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ KNO_3*Fe, KNO_3*cyanocobalamin, KNO_3*KH_2PO_4, KNO_3*light intensity และ KNO_3*carbondioxide



ภาพที่ 4.62 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 24 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากภาพอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลผลิตน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ KNO_3*Fe, KNO_3*KH_2PO_4 และ KNO_3*light intensity

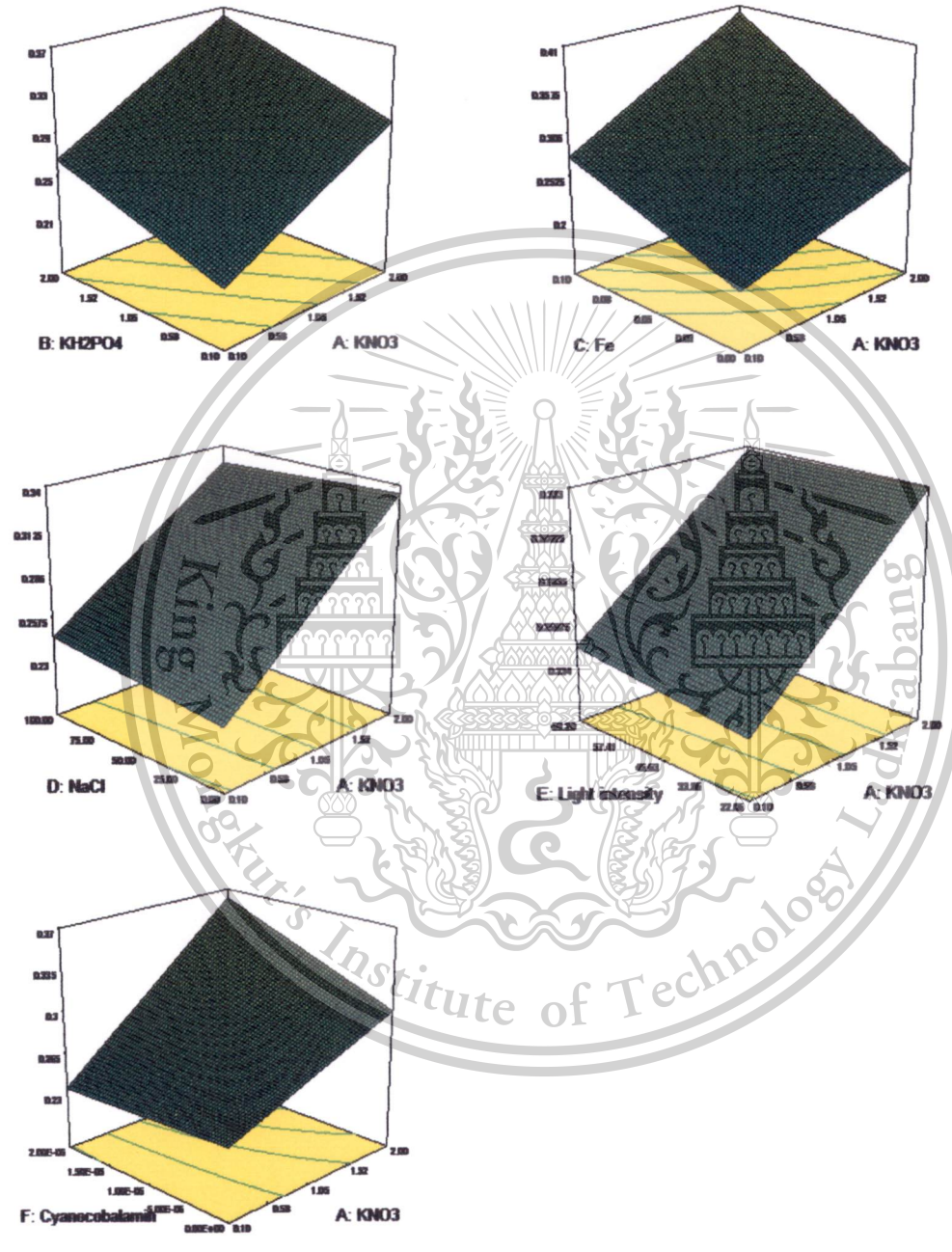


ภาพที่ 4.63 อิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลในวันที่ 28 ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*

จากภาพอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยที่ส่งผลต่อผลผลผลิตน้ำมันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติคือ KNO_3*Fe

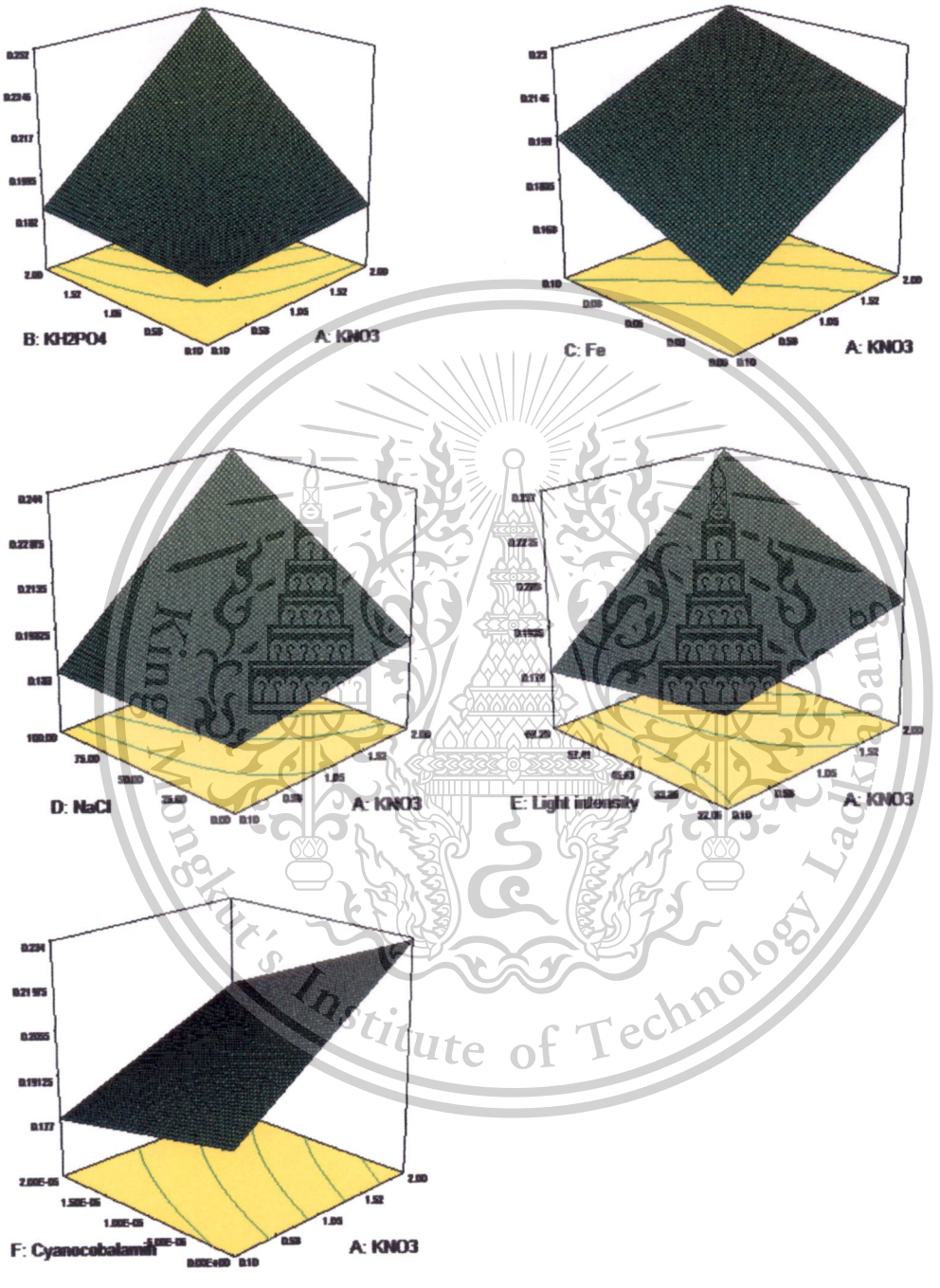
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.4. พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*



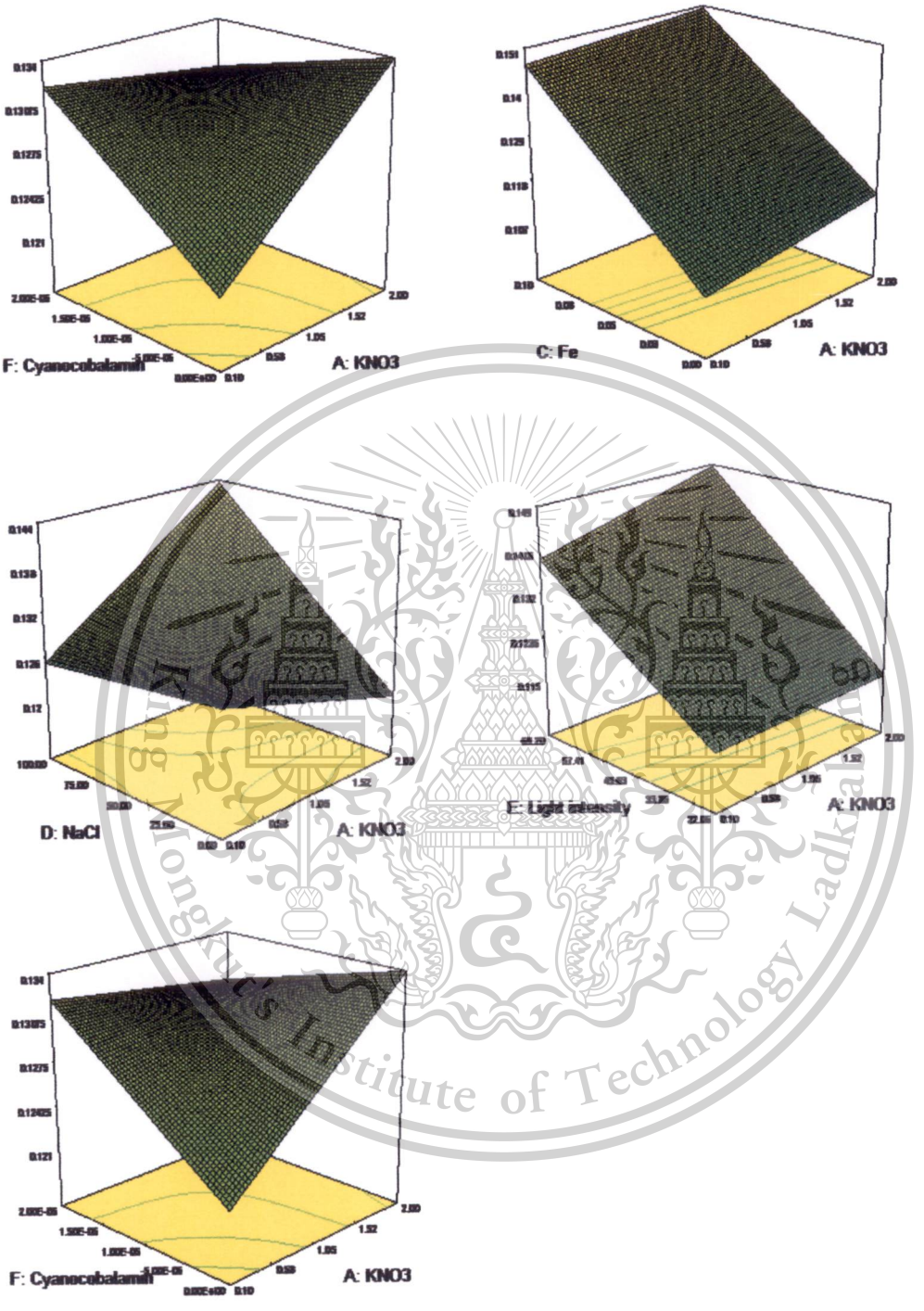
ภาพที่ 4.64 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมของปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



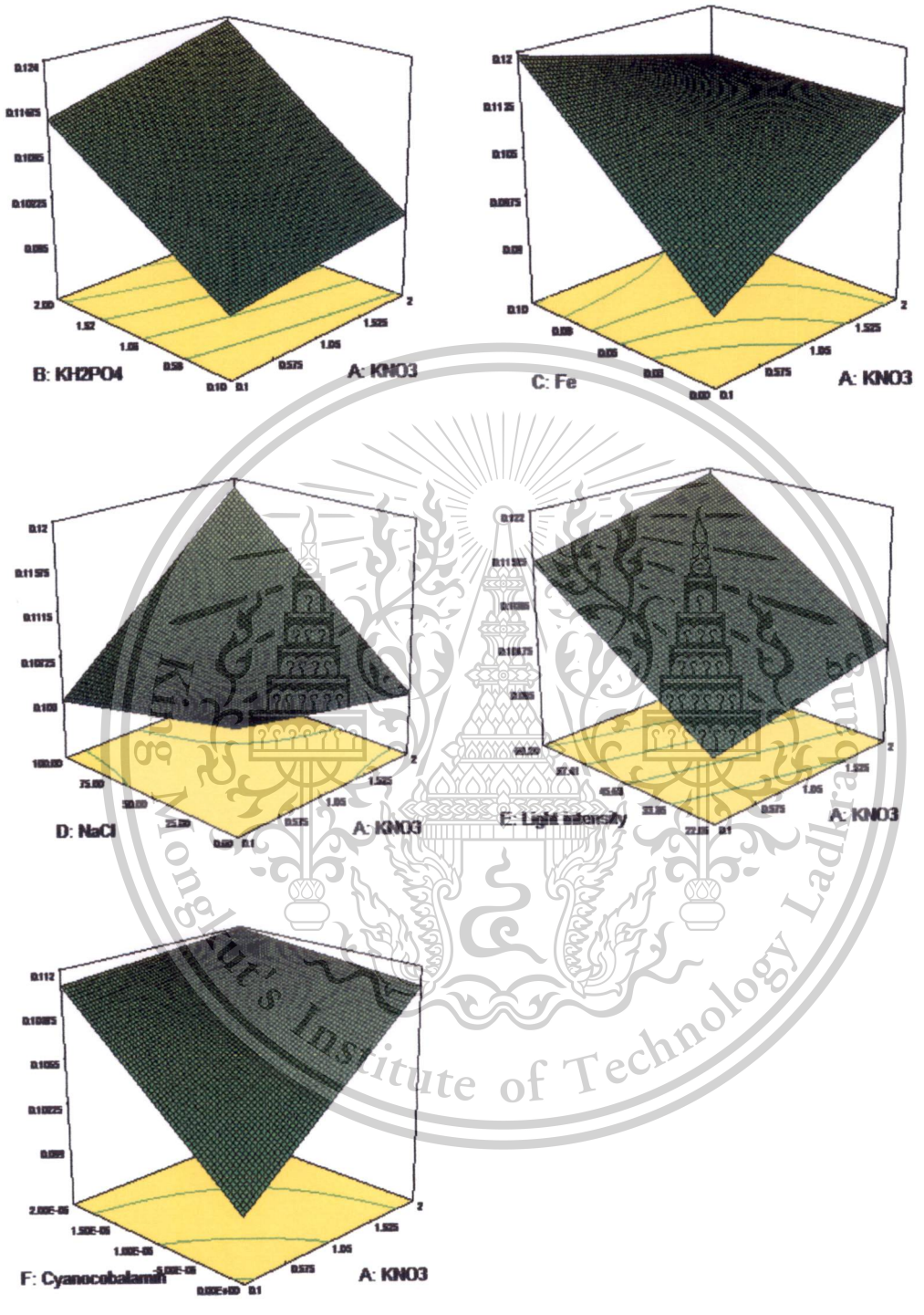
ภาพที่ 4.65 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



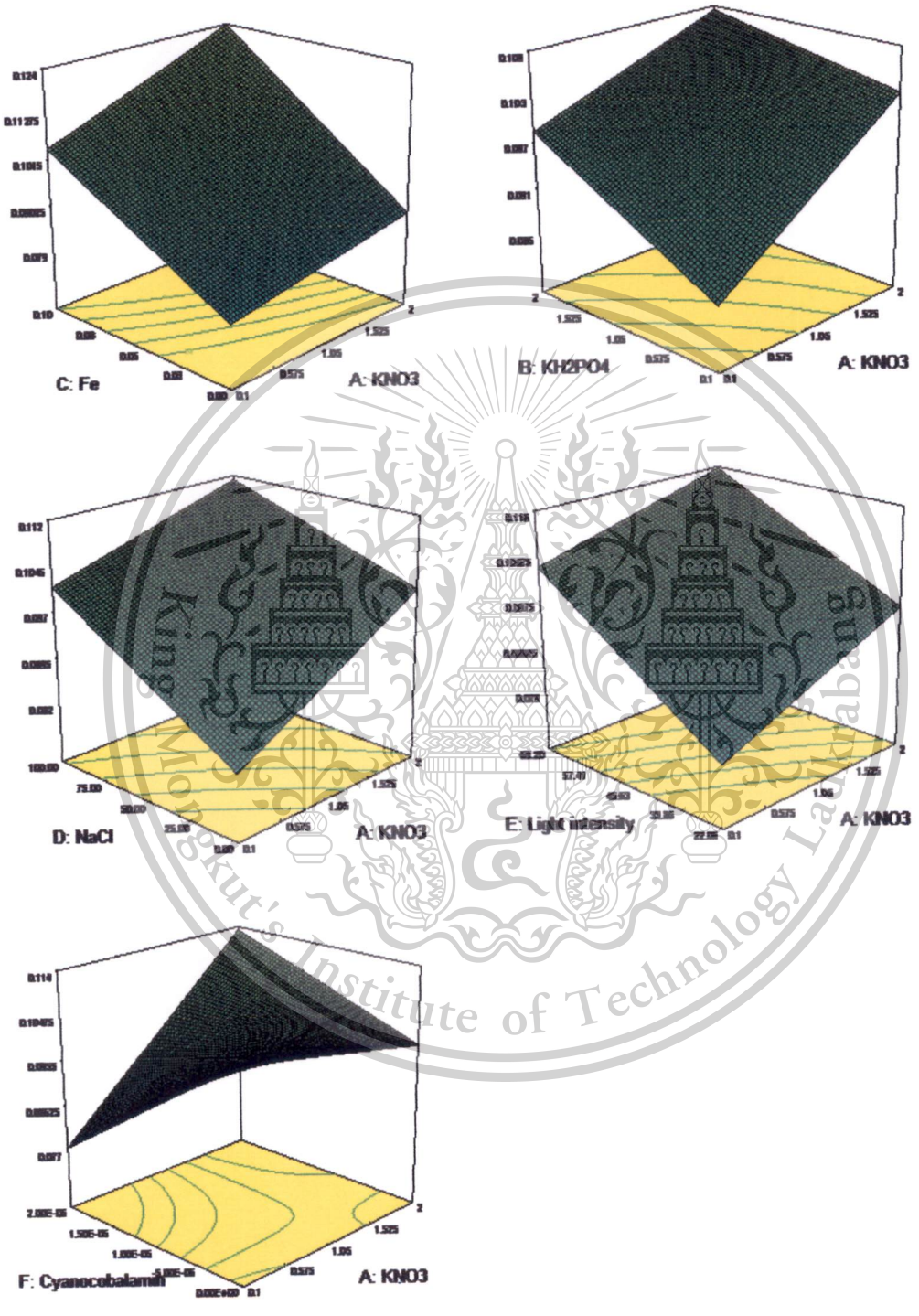
ภาพที่ 4.66 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



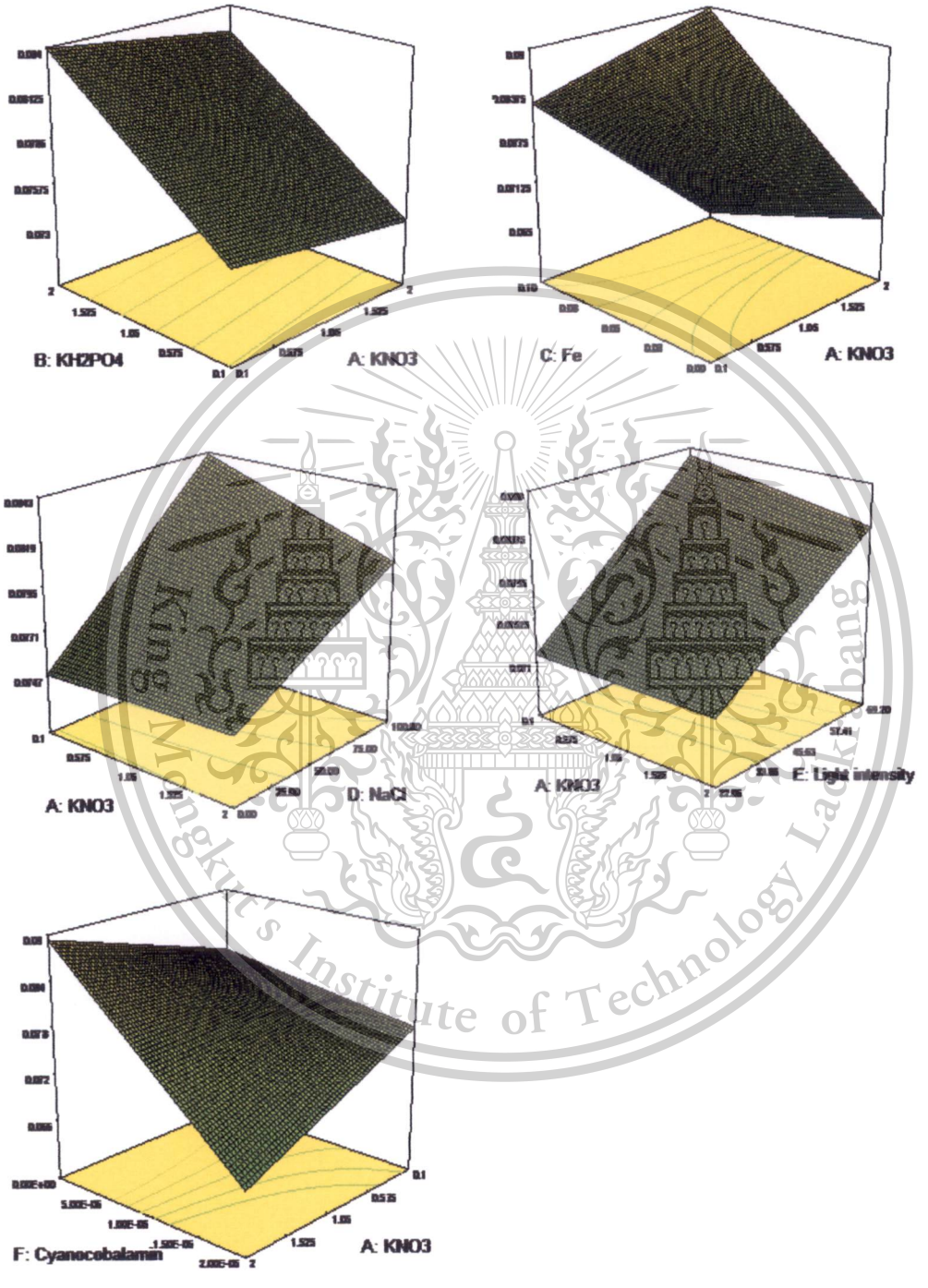
ภาพที่ 4.67 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



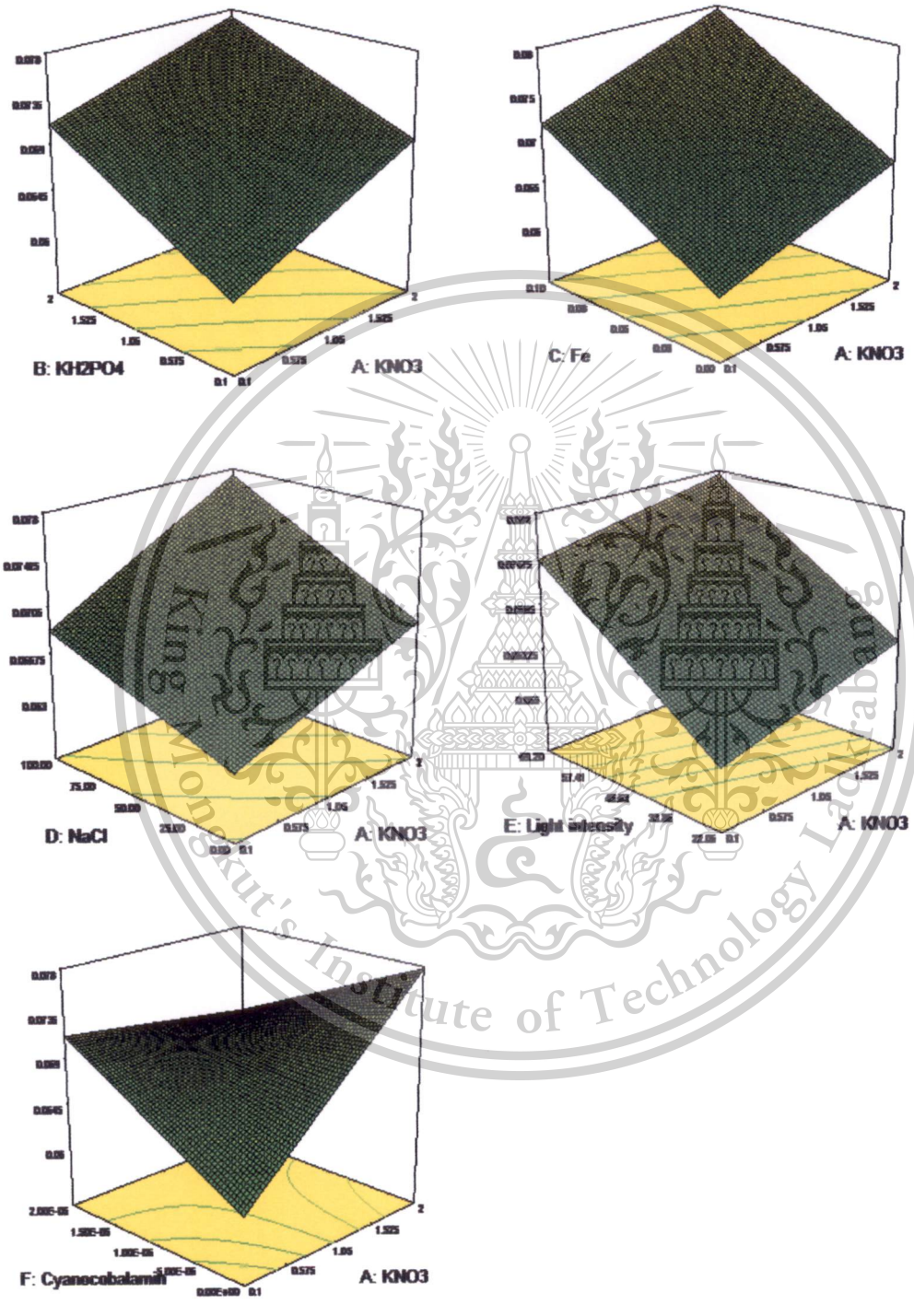
ภาพที่ 4.68 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.69 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวลของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 24

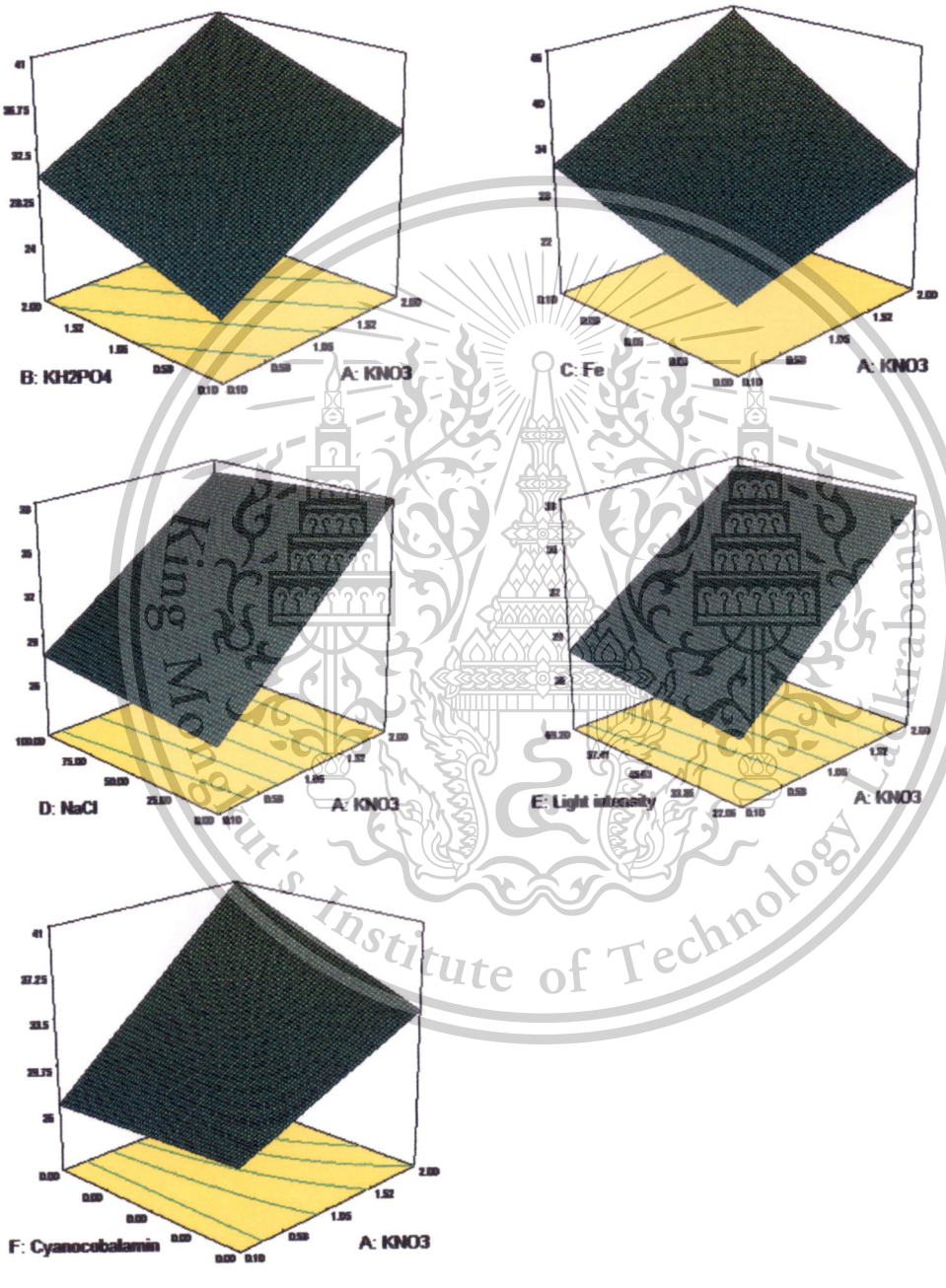
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.70 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตชีวมวล ของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 28

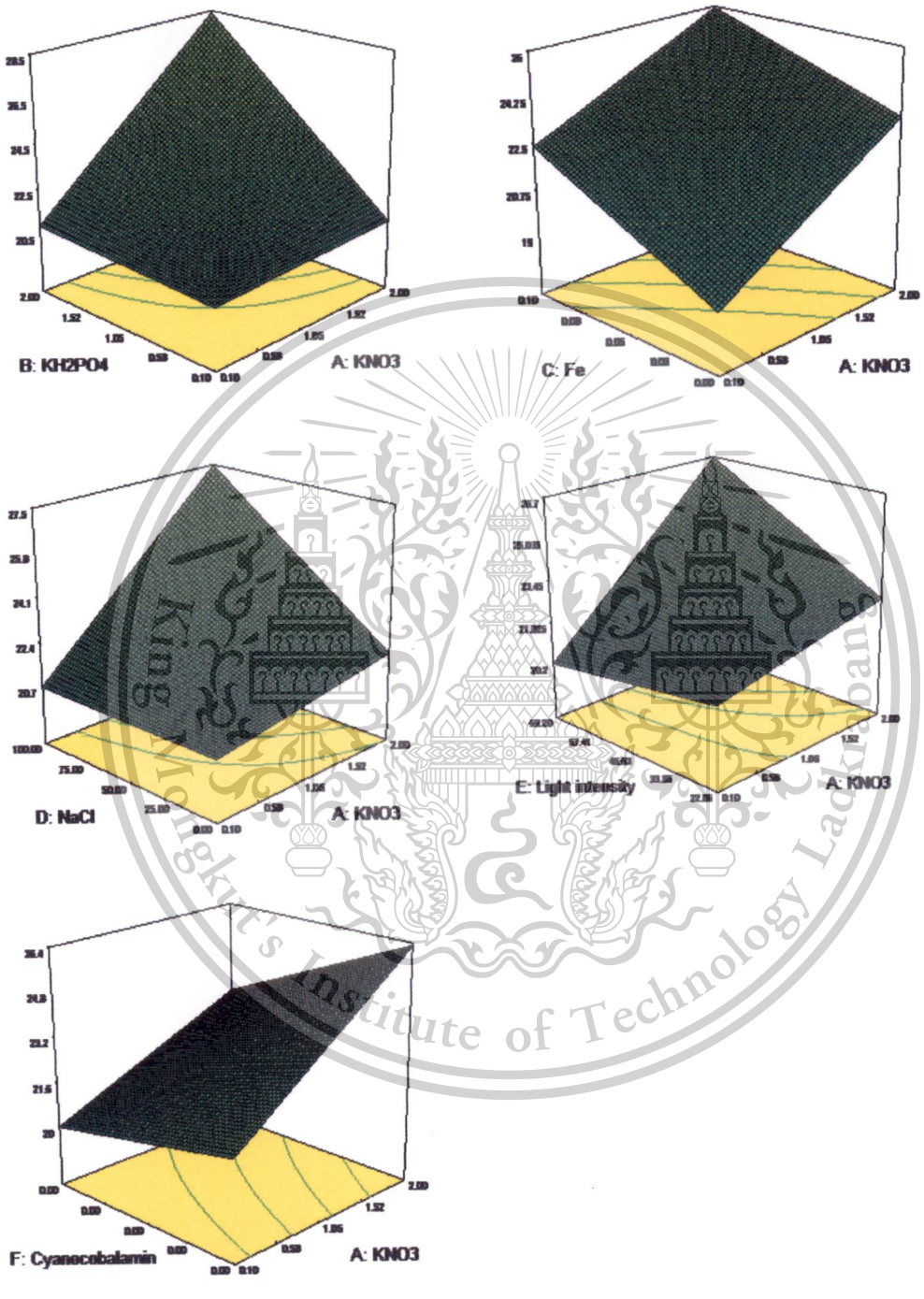
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.5. พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*



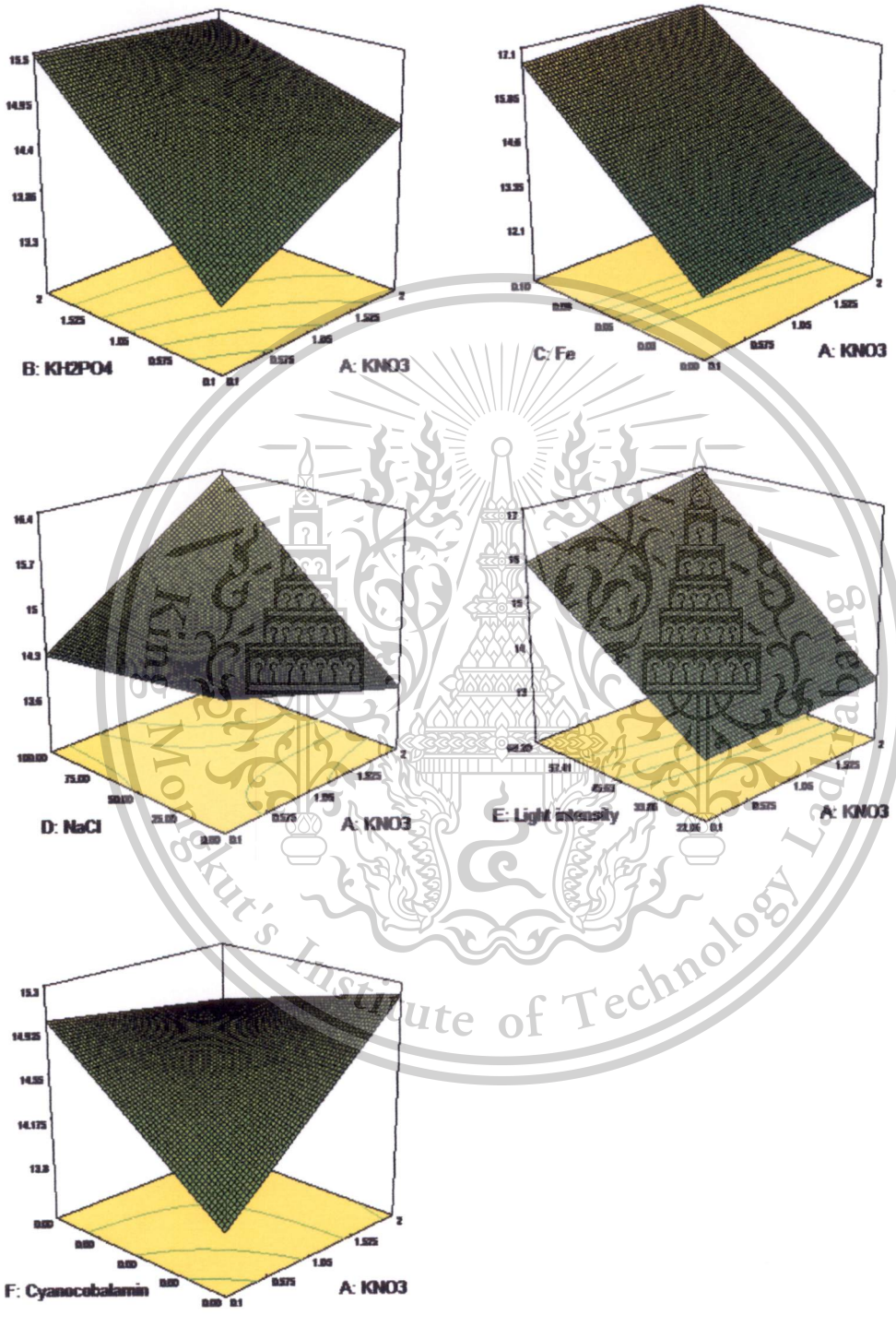
ภาพที่ 4.71 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



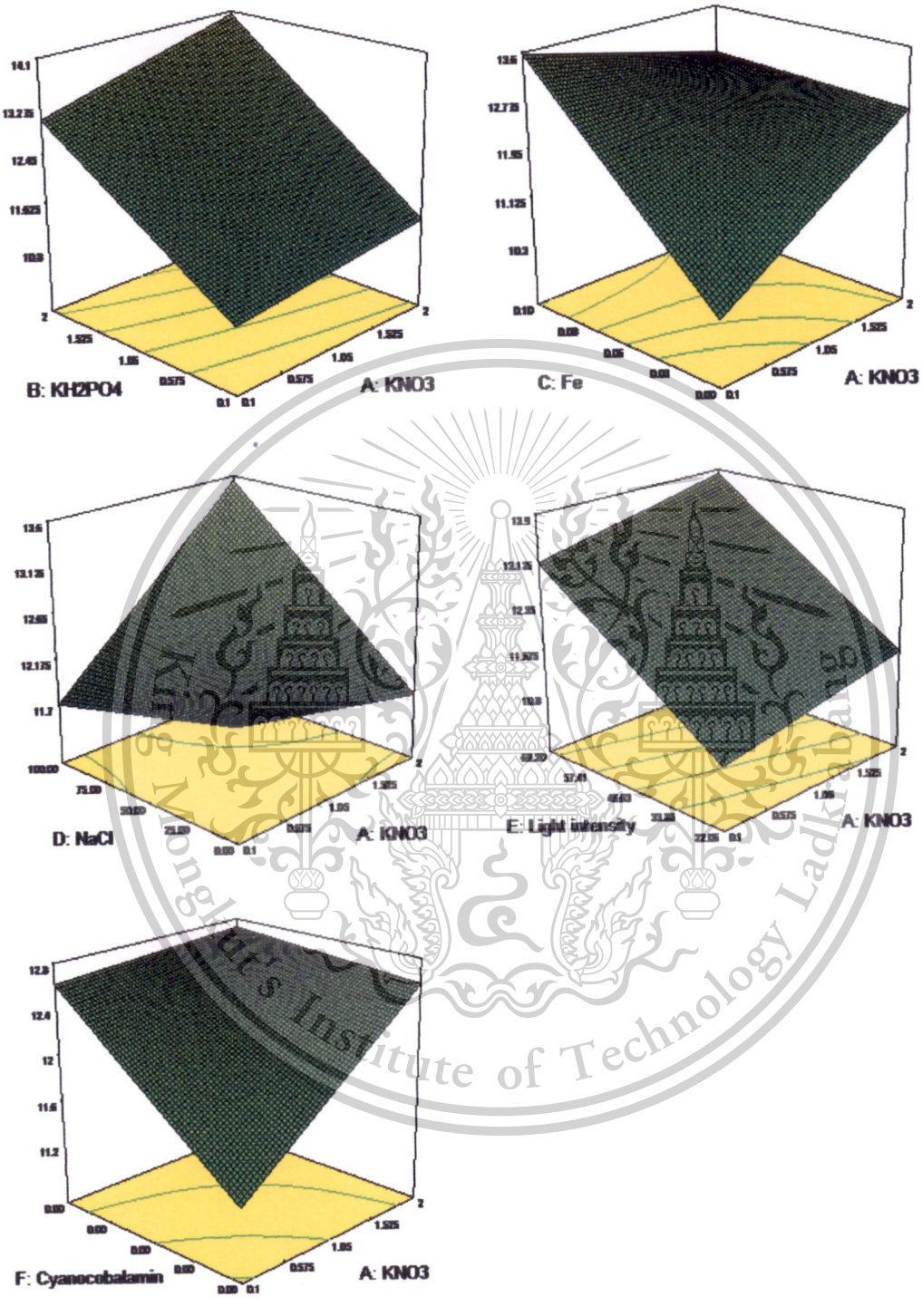
ภาพที่ 4.72 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



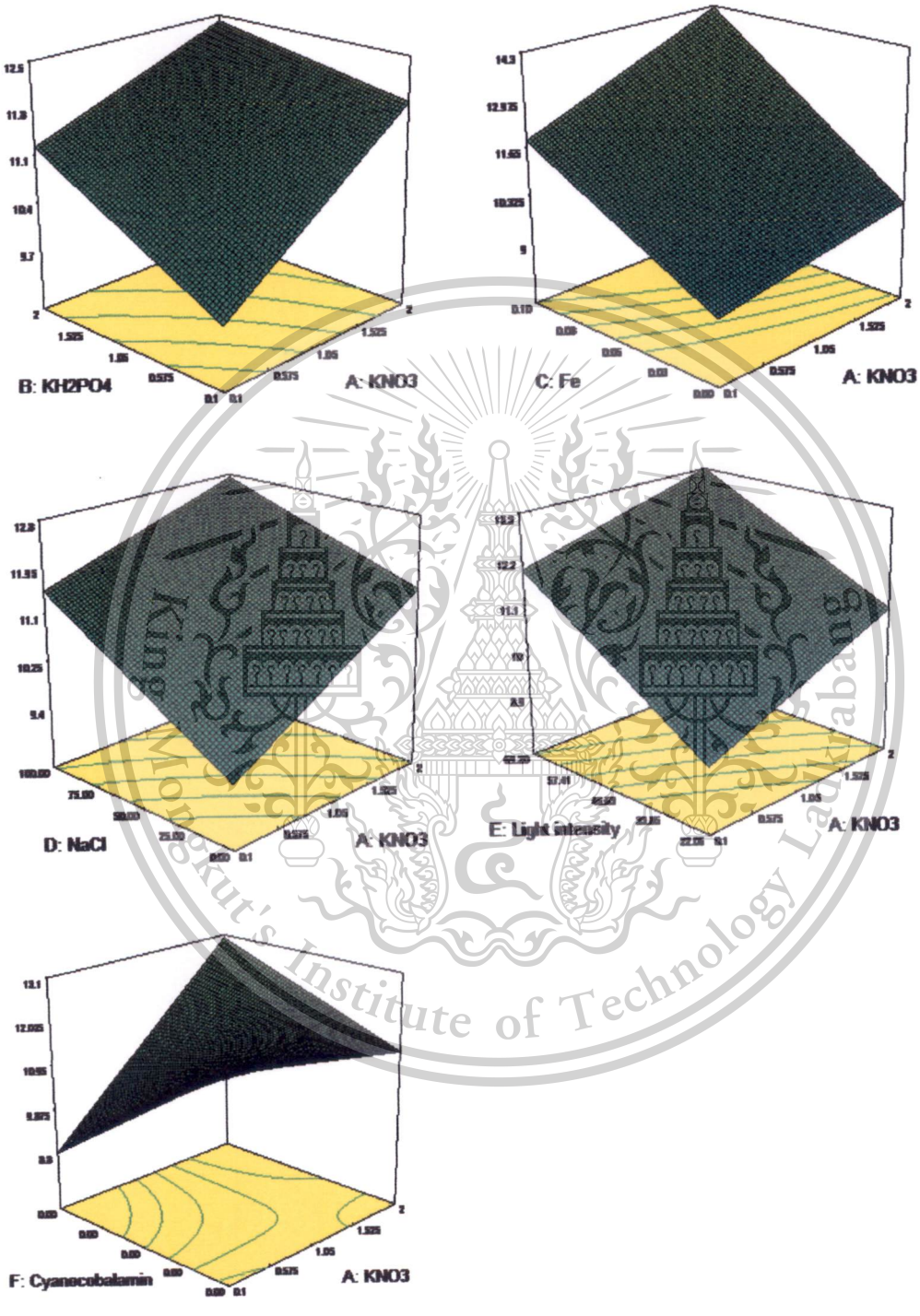
ภาพที่ 4.73 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



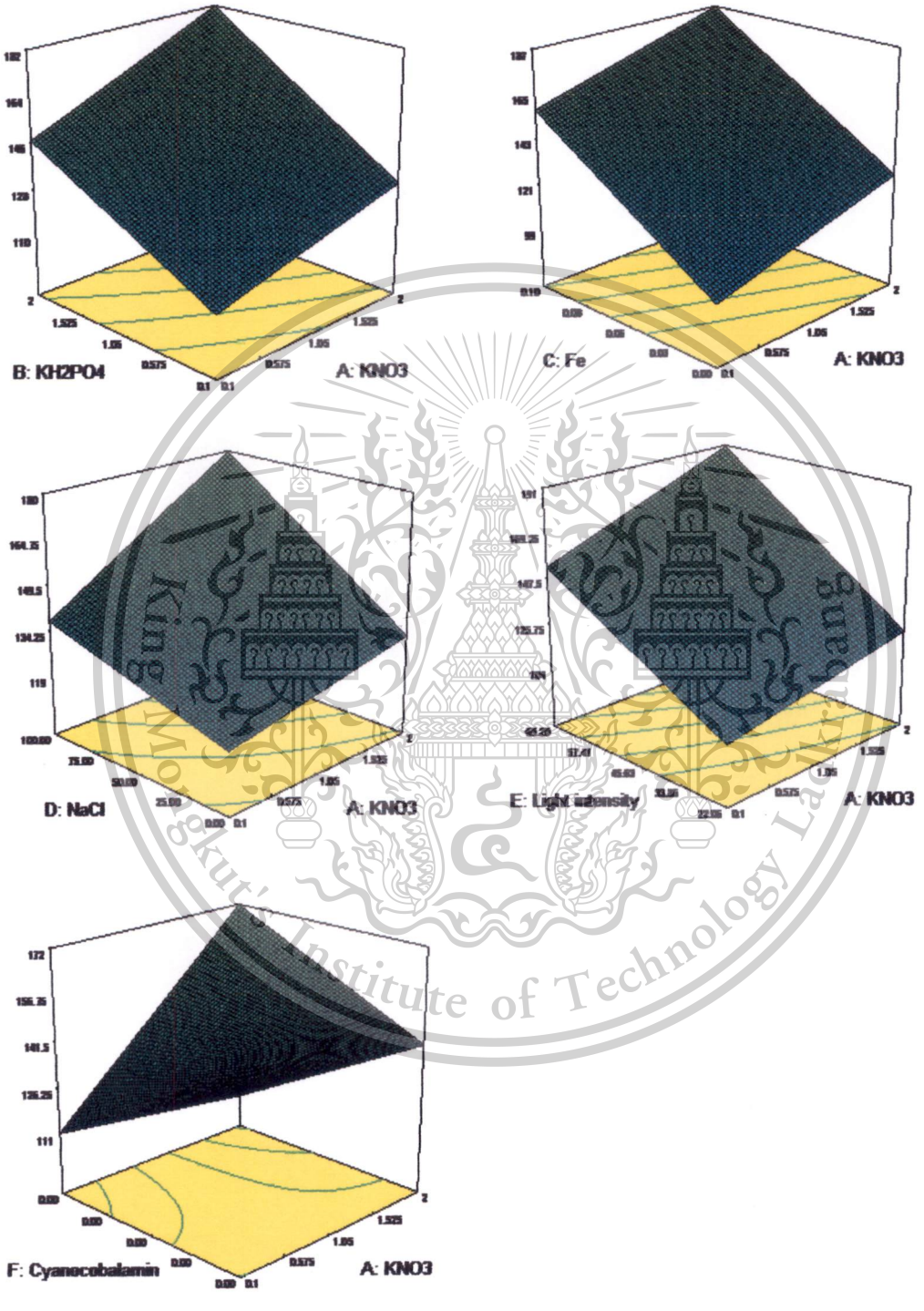
ภาพที่ 4.74 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



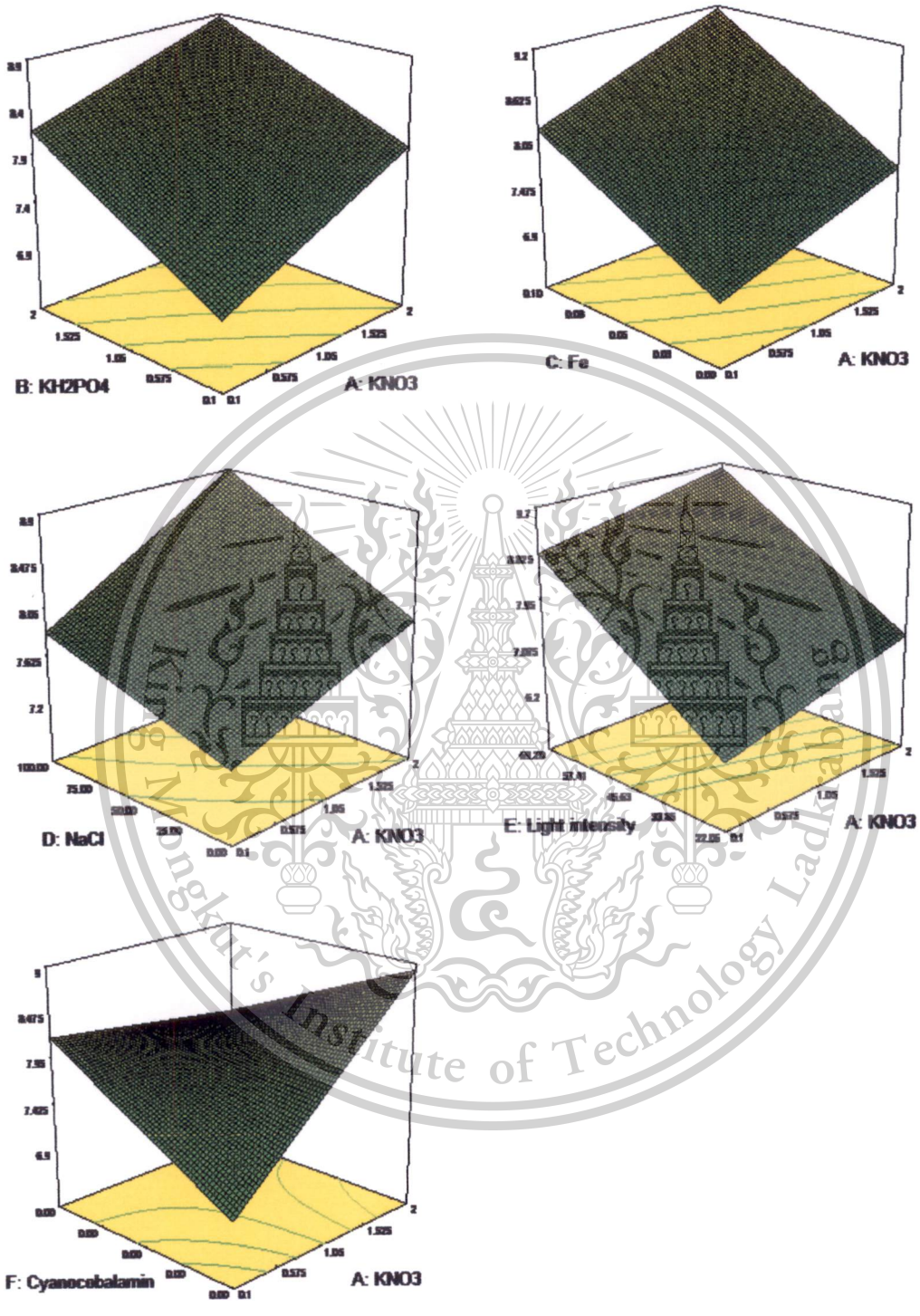
ภาพที่ 4.75 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.76 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 24

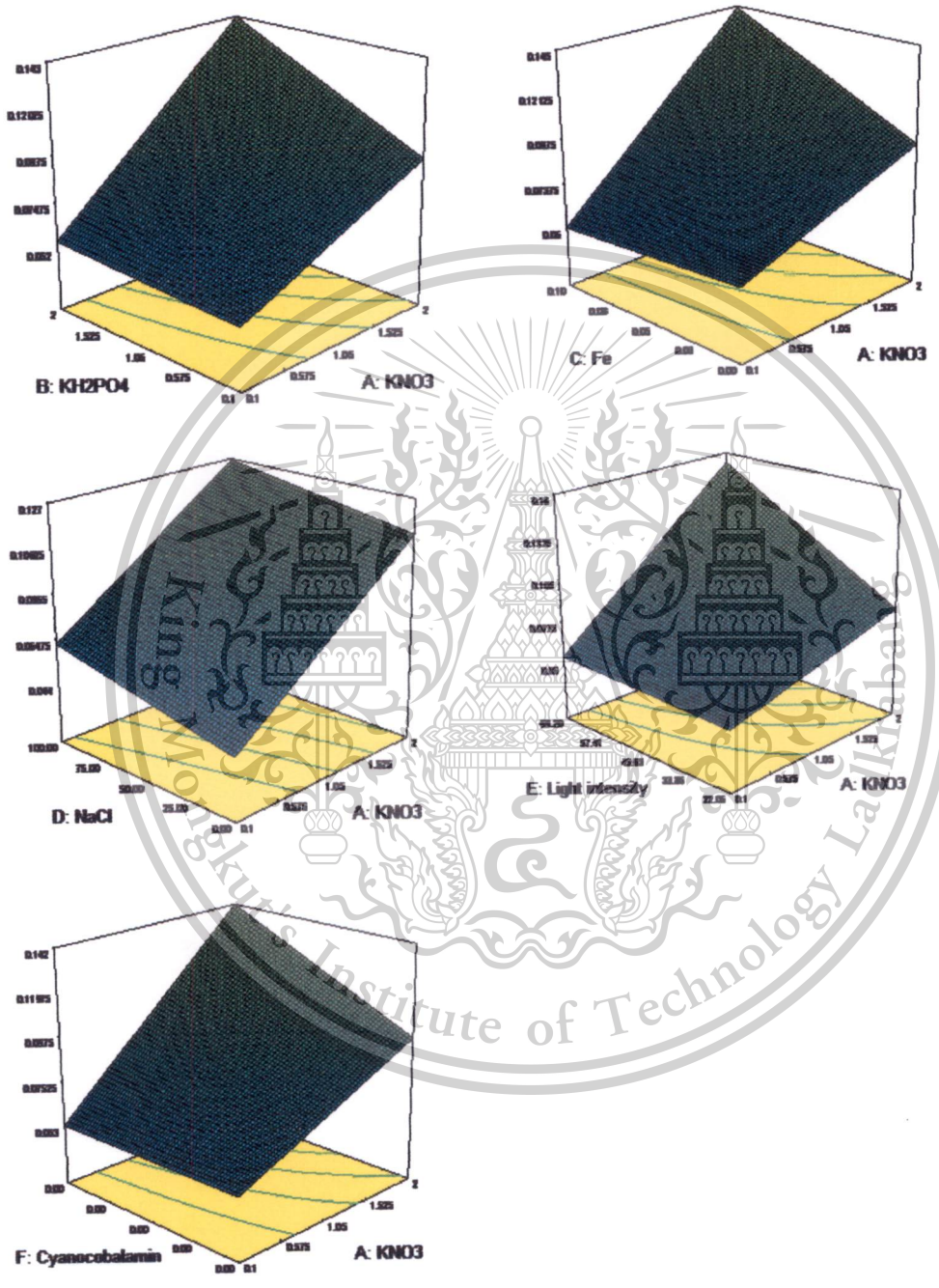
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.77 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตคาร์โบไฮเดรตของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 28

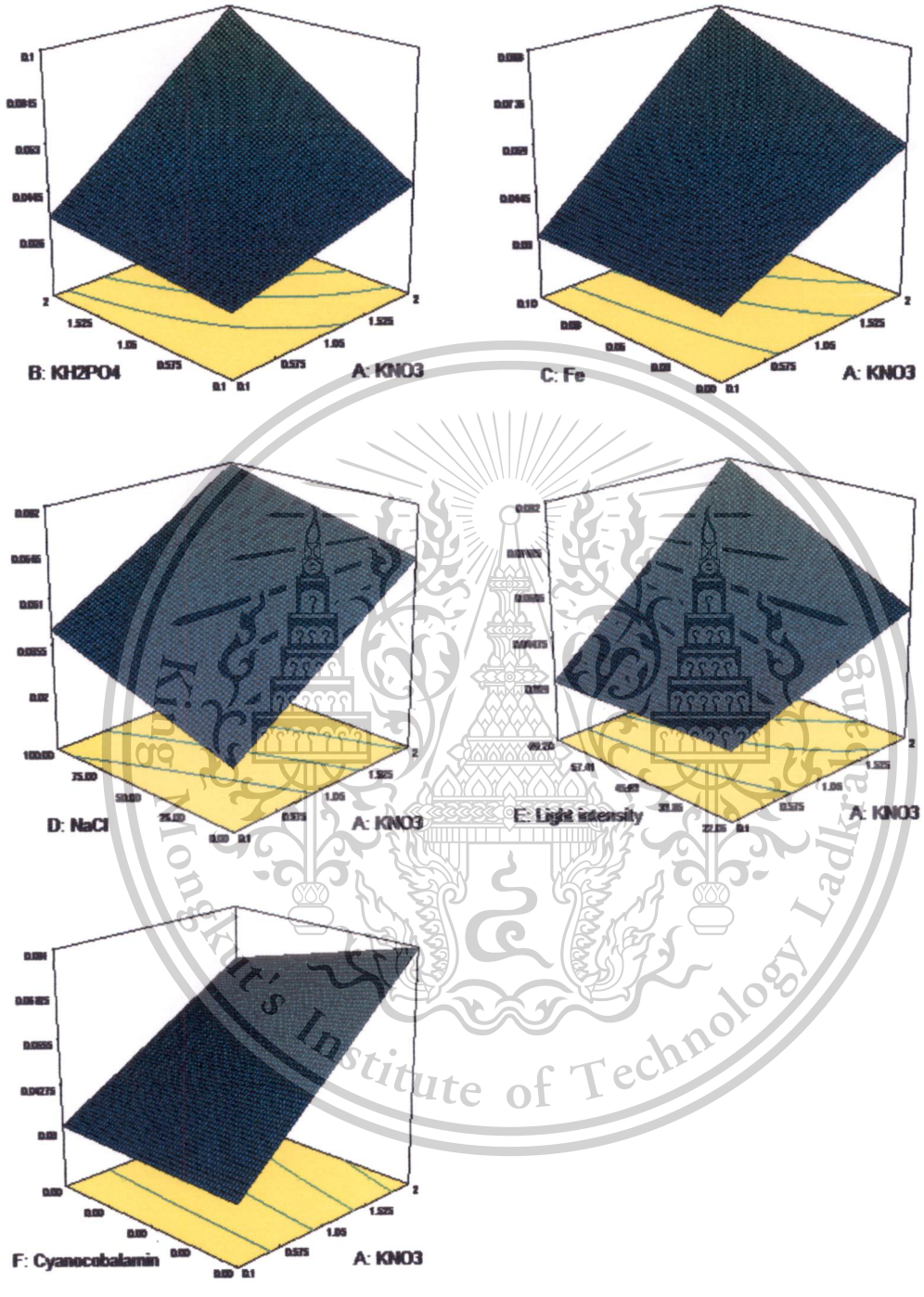
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.4. พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda*



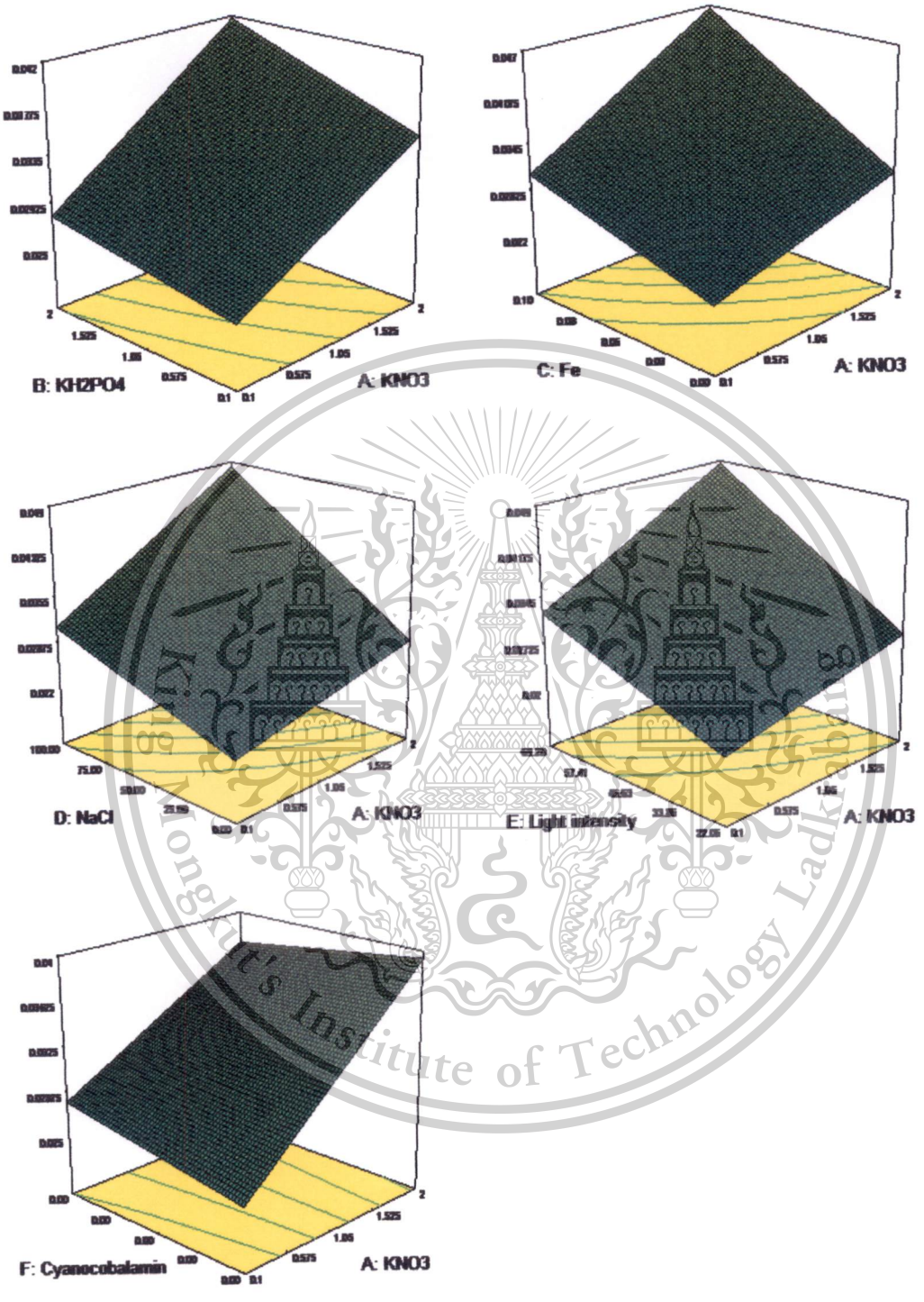
ภาพที่ 4.78 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



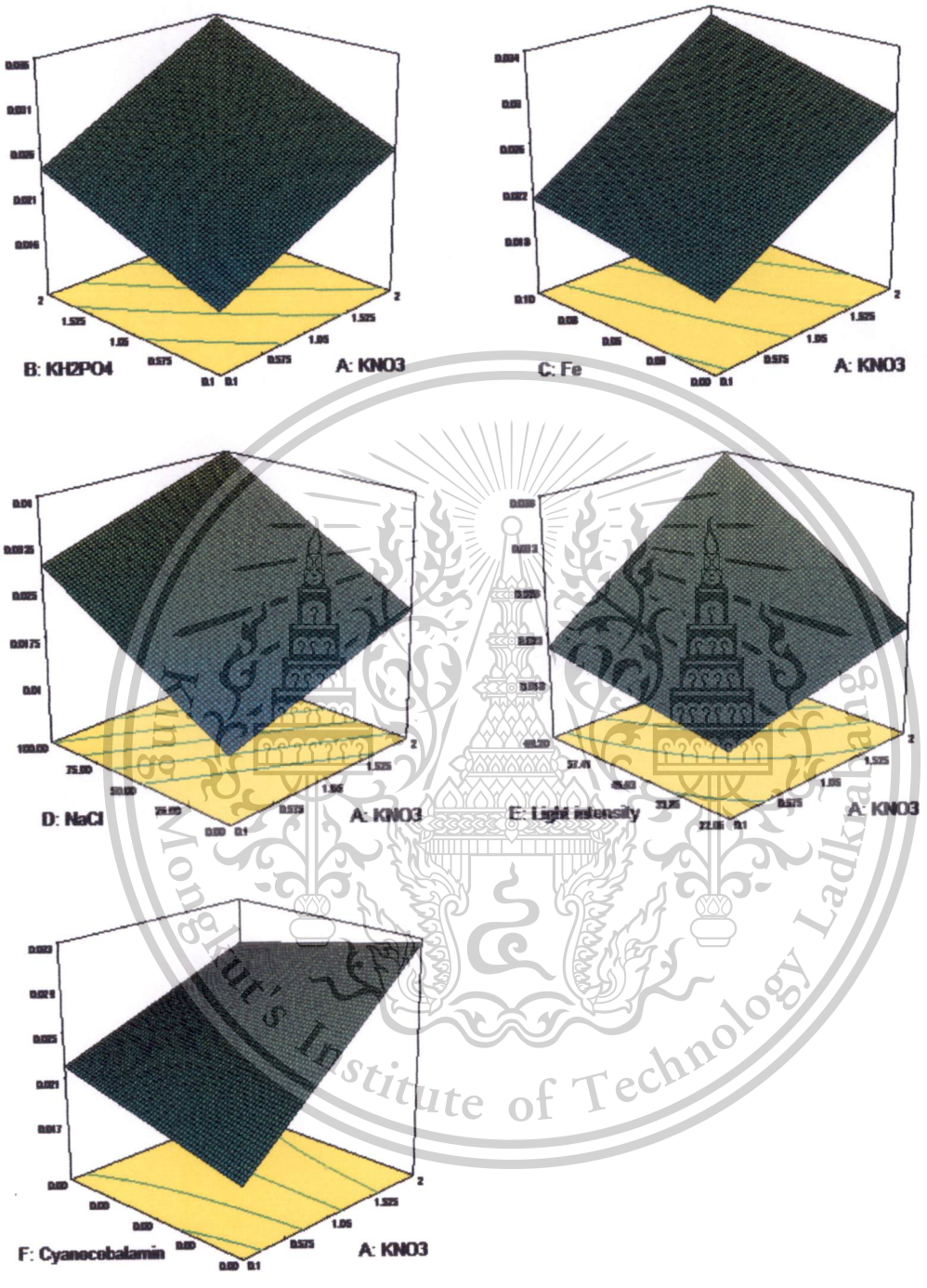
ภาพที่ 4.79 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



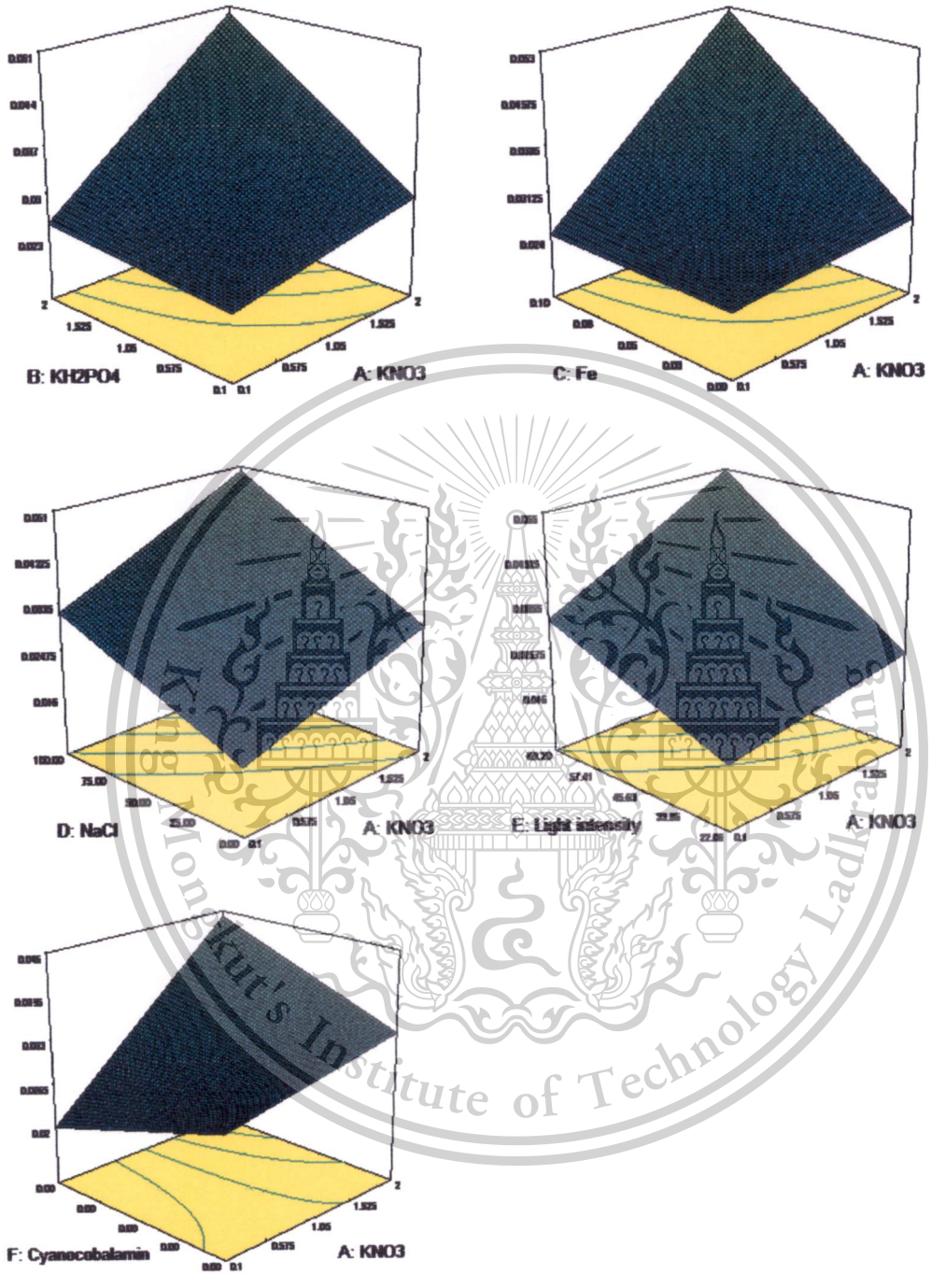
ภาพที่ 4.80 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



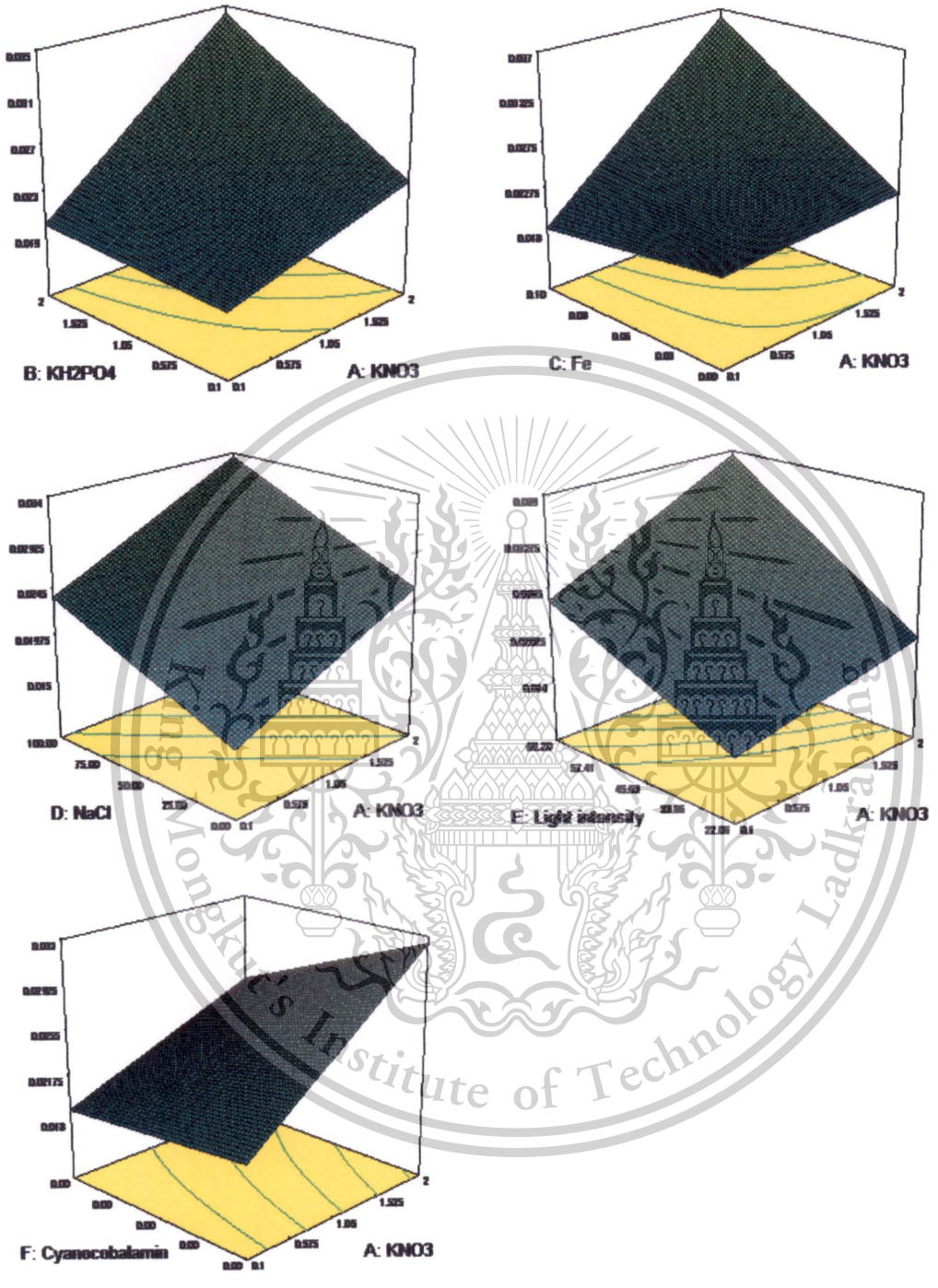
ภาพที่ 4.81 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



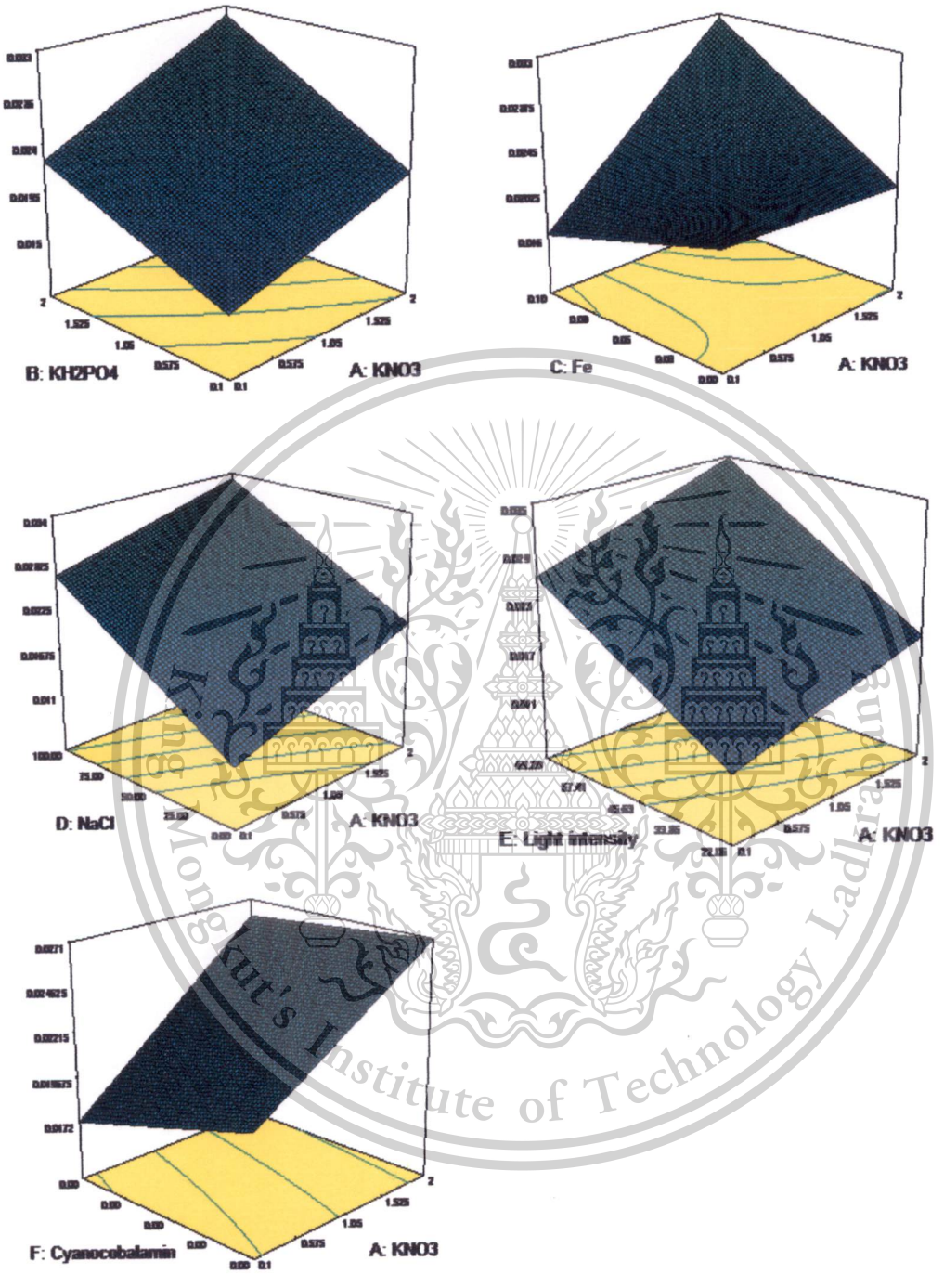
ภาพที่ 4.82 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.83 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



ภาพที่ 4.84 พื้นที่ผิวตอบสนองของอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยต่อผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* วันที่ 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.3 ผลการประมาณสัมประสิทธิ์ของสมการถดถอยเชิงพหุคูณ

จากการทดลองเพื่อคัดกรองปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวล ผลผลิตคาร์โบไฮเดรต และผลผลิตน้ำมัน ข้างต้น พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตที่ศึกษา คือ KNO_3, KH_2PO_4, Fe, NaCl, light intensity, cyanocobalamin และ carbondioxide นำปัจจัยดังกล่าวมาออกแบบการทดลองแบบ central composite design แบบ 6 ปัจจัยโดยใช้โปรแกรม design expert ver.7.0 และนำค่าที่ได้มาสร้างสมการโดยใช้โปรแกรม minitab ver.17เพื่อสร้างสมการเพื่อทำนายผลผลิตที่ศึกษา ดังนี้

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ผลผลิตชีวมวล ผลผลิตคาร์โบไฮเดรต และผลผลิตน้ำมัน ทดลองแบบ central composite design แบบ 6 ปัจจัย

ชุดทดลอง	ผลผลิตมวลชีวภาพ	ผลผลิตคาร์โบไฮเดรต	ผลผลิตน้ำมัน
1	0.1018	8.5196	0.0109
2	0.1071	10.7984	0.0146
3	0.1067	11.4843	0.0137
4	0.1141	11.9302	0.0248
5	0.0988	11.5302	0.0089
6	0.1065	9.6271	0.2020
7	0.1072	12.7181	0.0205
8	0.1197	13.3805	0.0273
9	0.1067	9.5563	0.0213
10	0.1086	11.0654	0.0309
11	0.1055	10.2162	0.0315
12	0.1129	14.2908	0.0366
13	0.1062	10.7902	0.0280
14	0.1143	12.5157	0.0333
15	0.1025	7.8560	0.0295
16	0.1124	12.3788	0.0422
17	0.1017	11.6889	0.0120

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

18	0.1031	11.82.83	0.0305
19	0.1094	12.8767	0.0234
20	0.1162	15.5818	0.0376
21	0.1011	12.9226	0.0187
22	0.1088	13.2786	0.0329
23	0.1062	15.8873	0.0215
24	0.1157	14.4104	0.0432
25	0.1091	10.9488	0.0310
26	0.1107	14.7170	0.0437
27	0.1054	13.3855	0.0325
28	0.1088	15.3207	0.0525
29	0.1060	13.9594	0.0290
30	0.1103	13.5456	0.0492
31	0.1049	14.6192	0.0392
32	0.1145	16.7710	0.05850
33	0.1038	11.8268	0.0152
34	0.1134	13.5802	0.0334
35	0.1052	11.1357	0.239
36	0.1112	142713	0.0353
37	0.1080	11.8554	0.0272
38	0.1084	13.5516	0.0320
39	0.1075	12.2347	0.0186
40	0.1090	13.1723	0.0406
41	0.1081	10.8957	0.0219
42	0.1188	14.5119	0.0373
43	0.1075	11.5416	0.0319

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

44	0.1188	13.5665	0.0273
45	0.1088.	12.7035	0.0296
46	0.1091	12.2172	0.0281
47	0.1095	12.6318	0.0309
48	0.1084	12.3295	0.0292
49	0.1082	12.7031	0.0286
50	0.1093	12.6972	0.0288
51	0.1087	12.6975	0.0302
52	0.1099	12.7011	0.0298

นำค่าที่ได้จากการทดลองมาวิเคราห์เพื่อหาสมการเพื่อการทำนาย โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ minitab 17 ได้สมการดังนี้

Y (biomass) = 0.09896 + 0.00333 KNO_3 + 0.00939 KH_2PO_4 + 0.0540 Fe + 0.000187 NaCl
- 0.000155 light intensity - 0.00314 carbondioxide - 0.00136 KNO_3*KNO_3
- 0.00164 KH_2PO_4*KH_2PO_4 - 0.756 Fe*Fe - 0.000001 NaCl*NaCl
+ 0.000002 light intensity*light intensity
+ 0.000353 carbondioxide*carbondioxide
+ 0.001502 KNO_3*KH_2PO_4 + 0.0346 KNO_3*Fe - 0.000013 KNO_3*NaCl
- 0.000027 KNO_3*light intensity+ 0.000759 KNO_3*carbondioxide
+ 0.0009 KH_2PO_4*Fe
- 0.000075 KH_2PO_4*NaCl - 0.000001 KH_2PO_4*light intensity
- 0.000027 KH_2PO_4*carbondioxide- 0.000010 Fe*NaCl -
0.000036 Fe*light intensity
- 0.00020 Fe*carbondioxide + 0.000000 NaCl*light intensity
+ 0.000000 NaCl*carbondioxide + 0.000000 light intensity*carbondioxide

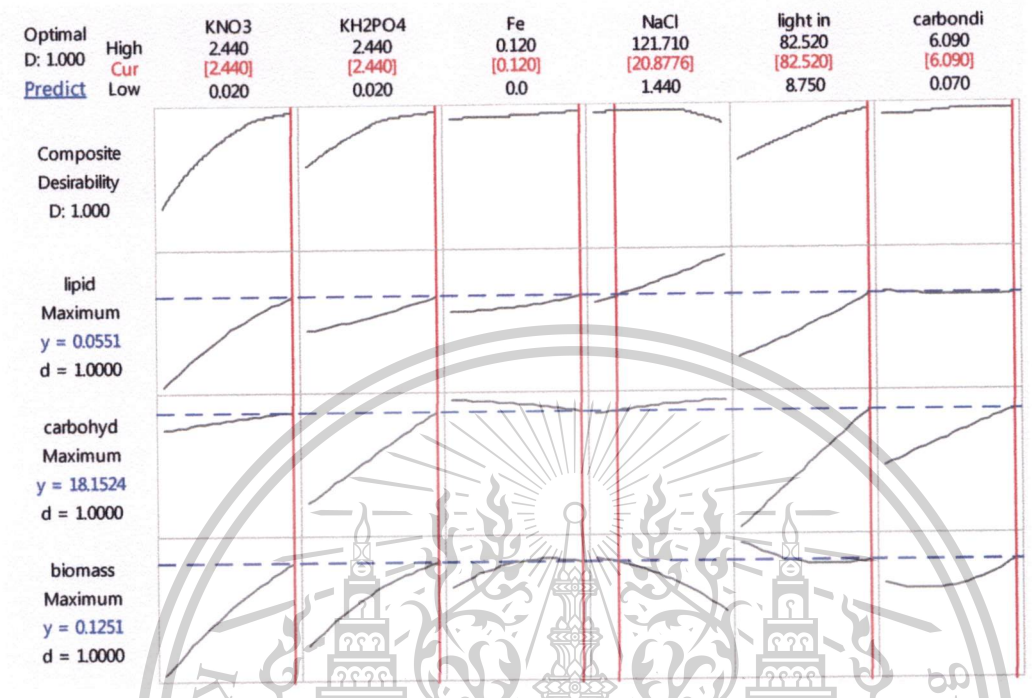
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Y (carbohydrate) = 6.58 - 0.162 KNO_3 + 1.550 KH_2PO_4 + 38.0 Fe + 0.0018 NaCl
+ 0.0205 light intensity + 0.219 carbondioxide - 0.038 KNO_3*KNO_3
- 0.038 KH_2PO_4*KH_2PO_4 - 18 Fe*Fe - 0.000016 NaCl*NaCl
- 0.000042 light intensity*light intensity
- 0.0061 carbondioxide*carbondioxide+ 0.397 KNO_3*KH_2PO_4-
11.43 KNO_3*Fe
+ 0.01694 KNO_3*NaCl- 0.00710 KNO_3*light intensity
+ 0.2012 KNO_3*carbondioxide
- 6.23 KH_2PO_4*Fe - 0.01095 KH_2PO_4*NaCl + 0.01057 KH_2PO_4*light intensity
- 0.0972 KH_2PO_4*carbondioxide - 0.1249 Fe*NaCl + 0.204 Fe*light intensity
- 1.87 Fe*carbondioxide + 0.000212 NaCl*light intensity
- 0.00195 NaCl*carbondioxide + 0.00318 light intensity*carbondioxide

Y (lipid) = 0.00385 + 0.006613 KNO_3 + 0.002816 KH_2PO_4 - 0.0130 Fe + 0.000161 NaCl
- 0.000014 light intensity - 0.002080 carbondioxide - 0.002895 KNO_3*KNO_3
+ 0.000725 KH_2PO4*KH_2PO_4 + 0.307 Fe*Fe + 0.000000 NaCl*NaCl
+ 0.000001 light intensity*light intensity
+ 0.000117 carbondioxide*carbondioxide
+ 0.000627 KNO_3*KH_2PO_4 + 0.01329 KNO_3*Fe - 0.000000 KNO_3*NaCl
+ 0.000123 KNO_3*light intensity+ 0.000471 KNO_3*carbondioxide
+ 0.00051 KH_2PO_4*Fe
- 0.000011 KH_2PO_4*NaCl - 0.000000 KH2PO4*light intensity
+ 0.000002 KH_2PO_4*carbondioxide- 0.000006 Fe*NaCl-
0.000003 Fe*light intensity
- 0.00012 Fe*carbondioxide - 0.000000 NaCl*light intensity
+ 0.000000 NaCl*carbondioxide + 0.000000 light intensity*carbondioxide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4. การจุดเหมาะสมของตัวแปรที่ศึกษา



ภาพที่ 4.85 ผลทำนายผลผลิตชีวมวล ผลผลิตคาร์โบไฮเดรต และผลผลิตน้ำมันที่จุดมุ่งหมายสูงสุด

จากผลการทำนายปริมาณของปัจจัยที่เหมาะสมต่อผลผลิตชีวมวล ผลผลิตคาร์โบไฮเดรต และผลผลิตน้ำมัน โดยพิจารณาจากผลผลิตทั้งหมด คือ ปริมาณ KNO_3 ที่ 2.440 กรัมต่อลิตร KH_2PO_4 ที่ 2.440 กรัมต่อลิตร Fe ที่ 0.120 กรัมต่อลิตร NaCl ที่ 20.8776 light intensity ที่ 82.520 ไมโครโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที และ carbon dioxide ที่ความเข้มข้น 6.090 เปอร์เซนต์ สามารถให้ผลผลิตชีวมวลที่ 0.0551 กรัมต่อลิตรต่อวัน ให้ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตที่ 18.1524 มิลลิกรัมกรัมต่อลิตรต่อวัน และให้ผลผลิตน้ำมันที่ 0.1251 กรัมต่อลิตรต่อวัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การคัดกรองปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตชีวมวล ผลผลิตคาร์โบไฮเดรต และผลผลิตน้ำมันของสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* KMITL จากอาหารสูตร Chlorella medium ทั้งหมด 7 ปัจจัย พบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อผลผลิตที่ศึกษาและมีอิทธพลในทางบวก คือ KNO_3, KH_2PO_4, Fe, NaCl, light intensity และ carbondioxide อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่อการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Desmodesmus quadricauda* KMITL โดยใช้แผนการทดลอง CCD ที่ 6 ปัจจัย ได้สมการทำนายผลผลิตดังนี้

Y (biomass) = 0.09896 + 0.00333 KNO_3 + 0.00939 KH_2PO_4 + 0.0540 Fe + 0.000187 NaCl
- 0.000155 light intensity - 0.00314 carbondioxide - 0.00136 KNO_3*KNO_3
- 0.00164 KH_2PO_4*KH_2PO_4 - 0.756 Fe*Fe - 0.000001 NaCl*NaCl
+ 0.000002 light intensity*light intensity
+ 0.000353 carbondioxide*carbondioxide
+ 0.001502 KNO_3*KH_2PO_4 + 0.0346 KNO_3*Fe - 0.000013 KNO_3*NaCl
- 0.000027 KNO_3*light intensity+ 0.000759 KNO_3*carbondioxide
+ 0.0009 KH_2PO_4*Fe
- 0.000075 KH_2PO_4*NaCl - 0.000001 KH_2PO_4*light intensity
- 0.000027 KH_2PO_4*carbondioxide- 0.000010 Fe*NaCl -
0.000036 Fe*light intensity
- 0.00020 Fe*carbondioxide + 0.000000 NaCl*light intensity
+ 0.000000 NaCl*carbondioxide + 0.000000 light intensity*carbondioxide

Y (carbohydrate) = 6.58 - 0.162 KNO_3 + 1.550 KH_2PO_4 + 38.0 Fe + 0.0018 NaCl
+ 0.0205 light intensity + 0.219 carbondioxide - 0.038 KNO_3*KNO_3
- 0.038 KH_2PO_4*KH_2PO_4 - 18 Fe*Fe - 0.000016 NaCl*NaCl
- 0.000042 light intensity*light intensity
- 0.0061 carbondioxide*carbondioxide+ 0.397 KNO_3*KH_2PO_4-
11.43 KNO_3*Fe
+ 0.01694 KNO_3*NaCl- 0.00710 KNO_3*light intensity
+ 0.2012 KNO_3*carbondioxide
- 6.23 KH_2PO_4*Fe - 0.01095 KH_2PO_4*NaCl + 0.01057 KH_2PO_4*light intensity
- 0.0972 KH_2PO_4*carbondioxide - 0.1249 Fe*NaCl + 0.204 Fe*light intensity
- 1.87 Fe*carbondioxide + 0.000212 NaCl*light intensity
- 0.00195 NaCl*carbondioxide + 0.00318 light intensity*carbondioxide

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Y (lipid) = 0.00385 + 0.006613 KNO_3 + 0.002816 KH_2PO_4 - 0.0130 Fe + 0.000161 NaCl
- 0.000014 light intensity - 0.002080 carbondioxide - 0.002895 KNO_3*KNO_3
+ 0.000725 KH_2PO4*KH_2PO_4 + 0.307 Fe*Fe + 0.000000 NaCl*NaCl
+ 0.000001 light intensity*light intensity
+ 0.000117 carbondioxide*carbondioxide
+ 0.000627 KNO_3*KH_2PO_4 + 0.01329 KNO_3*Fe - 0.000000 KNO_3*NaCl
+ 0.000123 KNO_3*light intensity+ 0.000471 KNO_3*carbondioxide
+ 0.00051 KH_2PO_4*Fe
- 0.000011 KH_2PO_4*NaCl - 0.000000 KH2PO4*light intensity
+ 0.000002 KH_2PO_4*carbondioxide- 0.000006 Fe*NaCl-
0.000003 Fe*light intensity
- 0.00012 Fe*carbondioxide - 0.000000 NaCl*light intensity
+ 0.000000 NaCl*carbondioxide + 0.000000 light intensity*carbondioxide

ผลการทำนายปริมาณของปัจจัยที่เหมาะสมต่อผลผลิตชีวมวล ผลผลิตคาร์โบไฮเดรต และผลผลิตน้ำมัน โดยพิจารณาจากผลผลิตทั้งหมด คือ ปริมาณ KNO3 ที่ 2.440 กรัมต่อลิตร KH_2PO_4 ที่2.440 กรัมต่อลิตร Fe ที่ 0.120 กรัมต่อลิตร NaCl ที่20.8776 light intensity ที่ 82.520 ไมโครโฟตอนต่อตารางเมตรต่อวินาที และ carbon dioxide ที่ความเข้มข้น 6.090 เปอร์เซนต์ สามารถให้ผลผลิตชีวมวลที่ 0.0551 กรัมต่อลิตรต่อวัน ให้ผลผลิตคาร์โบไฮเดรตที่ 18.1524 มิลลิกรัมกรัมต่อลิตรต่อวัน และให้ผลผลิตน้ำมันที่ 0.1251 กรัมต่อลิตรต่อวัน

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บรรณานุกรม

Tammam, A.A., M.M. Alam and M. Osman, 2005. Mutagenesis of Dunaliella salina, International Journal of Agriculture&Biology. 7(3): 477-481.

Feng, D., Z. Chen, S. Xue and W. Zhang, 2011. Increased lipid production of the marine oleaginous microalgae *Isochrysis zhangjiangensis* (Chrysophyta) by nitrogen supplement. Bioresource Technology 102: 6710-6716.

Ho, S.H., C.Y. Chen and J.S. Chang, 2012. Effect of light intensity and nitrogen starvation on CO_2 fixation and lipid/carbohydrate production of an indigenous microalga *Scenedesmus obliquus* CNW-N. Bioresource Technology 113: 244-252.

Ruangsomboon, S., 2012. Effect of light, nutrient, cultivation time and salinity on lipid production of newly isolated strain of the green microalga, *Botryococcus braunii* KMITL 2. Bioresource Technology 109: 261-265.

Yeesang, C. and B. Cheirsilp, 2011. Effect of nitrogen, salt, and iron content in the growth medium and light intensity on lipid production by microalgae isolated from freshwater sources in Thailand. Bioresource Technology 102: 3034-3040.

Converti,A., A.A. Casazza., E.Y.Ortiz., P.Perego and M.D. Borghi.2009. Effect of temperature and nitrogen concentration on the growth and lipid content of *Nannochloropsis oculata* and *Chlorella vulgaris* for biodiesel production. Chemical Engineering and Processing:Process Intensification.48:1146–1151.

Laurent,L., A. Helias and B., Sialve.2009. Life-Cycle Assessment of Biodiesel Production from Microalgae. Environmental Science & Technology. 43(17):6475-6481.

An, J.Y., S.J. Sim1, J.S. Lee and B.W. Kim.2003. Hydrocarbon production from secondarily treated piggery wastewater by the green alga *Botryococcus braunii*. Journal of Applied Phycology 15: 185–191.

Gokulan,R., N.Sathish, R.P. Kumar.2003. Treatment Of Grey Water Using Hydrocarbon Producing *Botryococcus braunii*. International Journal of ChemTech Research CODEN(USA). 5(3):1390-1392

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาวสุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์
Miss Suneerat Ruangsomboon

เพศ หญิง วันเดือนปีเกิด 9 พฤศจิกายน 2515 อายุ 43 ปี

ตำแหน่งปัจจุบัน รองศาสตราจารย์ ระดับ8

ประวัติการศึกษา

ปี ที่ จ บ การศึกษา	ร ะ ดั บ ปริญญา	อักษรย่อปริญญาและชื่อเต็ม	สถาบันการศึกษา	ประเทศ
2538	ตรี	วท.บ. (ประมง) วิทยาศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยม)	ม.เกษตรศาสตร์	ไทย
2541	โท	วท.ม. (วิทยาศาสตร์การประมง) วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต	ม.เกษตรศาสตร์	ไทย
2549	เอก	Ph.D. (Environmental Technology)	ม.เทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี	ไทย

สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

อนุกรมวิธานของแพลงก์ตอน การใช้ประโยชน์สารสกัดจากสาหร่าย การบำบัดน้ำเสีย

ทุนวิจัยที่เคยได้รับ

1. ความเป็นไปได้ในการผลิตไข่พักไรแดงเป็นการค้า (งบประมาณแผ่นดิน 2544)
2. การบำบัดน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และสีย้อมปนเปื้อนโดยใช้ *Lemna, Chlorella* และ *Phormidium* (ทุนอุดหนุนการวิจัย ม.ศรีปทุม 2544)
3. การกำจัดสารอินทรีย์และสีย้อมจากน้ำเสียโดยใช้ *Oscillatoria* และ *Microcystis* (งบประมาณแผ่นดิน 2546)
4. การสะสมและถ่ายทอดแคดเมียมผ่านทางห่วงโซ่อาหารในแหล่งน้ำ (สกว. มิ.ย. 2546- มิ.ย. 2547)
5. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเห็ดลาบ *Nostoc commune* เพื่อการค้า (รายได้ภาคฯ 2547)
6. การเพาะเลี้ยงสาหร่ายเห็ดลาบ (*Nostoc commune*) และสาหร่ายสไปรูไลน่า (*Spirulina platensis*) ในน้ำนมดิบที่ทิ้งจากโรงงานผลิตนมเพื่อใช้เป็นอาหารปลาสวยงามและปลาเศรษฐกิจ(งบประมาณแผ่นดิน 2548-2549)
7. ผลกระทบของแสง และอุณหภูมิ ที่มีต่อเสถียรภาพการออกฤทธิ์ของสารสกัดจากสาหร่ายในการยับยั้งการงอกและการเติบโตของเมล็ดพืชทดสอบ (รายได้ภาคฯ 2549)
8. ผลของระยะเวลาในการเก็บรักษาสารสกัดจากสาหร่ายต่อการงอกของเมล็ดพืชทดสอบ (รายได้ภาคฯ 2550)
9. การกำจัดสีย้อมจากน้ำเสียโดยใช้วัสดุเหลือใช้จากสัตว์น้ำ (เปลือกกุ้ง เปลือกปู) (รายได้คณะฯ 2550)
10. แนวทางในการเพิ่มผลผลิต และปริมาณโปรตีนในปลาช่อนโดยการเลี้ยงด้วยอาหารผสม *Spirulina platensis* (เครือข่ายการวิจัยภาคกลางตอนบนประจำปีงบประมาณ 2550)
11. การเจริญเติบโต และคุณค่าทางโภชนาการของปลาช่อนที่เลี้ยงด้วยอาหารผสมไซยาโนแบคทีเรีย *Nostoc commune* (รายได้ภาคฯ 2551)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

12. ศักยภาพและแนวทางการใช้ประโยชน์จากสาหร่าย *Nostoc commune* (งบประมาณแผ่นดิน 2551-2552)
13. ศักยภาพและความเป็นไปได้ในการใช้เซลล์สาหร่ายไซยาโนแบคทีเรียที่มีชีวิตในการกำจัดตะกั่วจากน้ำเสีย (สกว. มิ.ย. 2550- มิ.ย. 2552)

ผลงานวิจัยที่ตีพิมพ์เผยแพร่

1. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2544. การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ควบคุมปริมาณแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria*. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 9(3):19-23.
2. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2545. การควบคุมการเจริญเติบโตของแพลงก์ตอนพืช *Oscillatoria* โดยใช้ฟอร์มาลินและคลอรีน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 18(3):30-37.
3. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2545. การบำบัดน้ำเสียที่มีตะกั่วและแคดเมียมปนเปื้อนโดยใช้แหนเป็ดเล็ก (*Lemna perpusilla* Torr.). วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 20 (3):1-11.
4. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์, ศักดิ์ชัย ชูโชติ, ปวีณา ทวีกิจการ และ กลิ่นสุคนธ์ สุวรรณรัตน์. 2546. การบำบัดน้ำเสียโดยใช้สาหร่ายไซยาโนแบคทีเรีย : *Oscillatoria* sp., *Microcystis* sp. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 21:48-60.
5. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์, ศักดิ์ชัย ชูโชติ, ปวีณา ทวีกิจการ และ จตุพร บัณฑิต. 2546. ผลของความเข้มแสงต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำและการสร้างไข่พักของไรแดง. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 21:61-68
6. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2547. การกำจัดตะกั่วและแคดเมียมโดยใช้สาหร่ายขนาดเล็ก *Phormidium angustissimum* และ *Chlorella vulgaris*. วารสารวิจัยวิทยาศาสตร์ (Section T) จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. 3(1): 287-296.
7. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2547. การดูดซับตะกั่วและแคดเมียมจากน้ำเสียโดยใช้ *Scenedesmus dimorphus* เป็นตัวดูดซับ. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 12(1):42-47.
8. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ และศักดิ์ชัย ชูโชติ. 2547. การผลิตไข่พักของไรแดงภายใต้สภาวะการควบคุมระดับพีเอชและแอมโมเนีย. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 22(2):65-75.
9. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ และ จำรูญ เล้าสินวัฒนา. 2548. ผลของสารสกัดจากสาหร่ายต่อการงอกของพืชทดสอบ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 36:978-981.
10. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ บุปผา จงพัฒน์ ศักดิ์ชัย ชูโชติ และ ปวีณา ทวีกิจการ. 2548. คุณค่าทางโภชนาการของไซยาโนแบคทีเรีย *Nostoc commune* Vaucher ที่เพาะเลี้ยงในสูตรอาหารที่แตกต่างกัน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 23(2):38-47.
11. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2549. การสร้างไข่พักของไรแดงที่ระดับอุณหภูมิต่ำและอัตราฟักของไข่พักที่ฆ่าเชื้อด้วยฟอร์มาลิน และไข่พักที่เก็บรักษาไว้ที่ระยะเวลาแตกต่างกัน. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 24(2):54-62.
12. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2549. การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไข่น้ำ *Wolffia arrhiza* (L.) Wimmer. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 24(3):1-14.
13. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ และ จำรูญ เล้าสินวัฒนา. 2549. ผลของแสงและอุณหภูมิที่มีต่อความสามารถของสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของ *Phormidium angustissimum* ในการยับยั้งการงอกของเมล็ดพืชทดสอบ. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 37(6):925-928.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

14. ผลของอุณหภูมิต่อการเจริญเติบโต ปริมาณโปรตีนและพอลิแซ็กคาไรด์ของไซยาโนแบคทีเรีย *Nostoc commune* Vaucher. 2549. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 14(2):40-49.
15. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2550. การบำบัดน้ำเสียโดยใช้ไซยาโนแบคทีเรีย *Calothrix marchica* Lemm. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 25:13-26.
16. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ และศักดิ์ชัย ชูโชติ. 2550. การกำจัดตะกั่วจากน้ำเสียสังเคราะห์โดยใช้ไซยาโนแบคทีเรีย *Oscillatoria jasorvensis* และ *Microcystis aeruginosa*. วารสารพระจอมเกล้าลาดกระบัง. 14:46-54.
17. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ ศักดิ์ชัย ชูโชติ ปวีณา ทวีกิจการ นิธิ พันธุ์คงชื่น. 2551. การเจริญเติบโตของปลานิลแดง (*Oreochromis niloticus* X *O. mossambicus*) ที่เลี้ยงด้วยอาหารผสม *Spirulina platensis* แห้ง. การประชุมวิชาการประมงครั้งที่ 3 "เพื่อความมั่นคงด้านการประมงและทรัพยากรทางน้ำ" 8-9 ธันวาคม 2551. คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ น. 95-104.
18. สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์ ศักดิ์ชัย ชูโชติ ปวีณา ทวีกิจการ ชาติสุพล เตรียมธนานันท์. 2551. คุณค่าทางโภชนาการและปริมาณรงควัตถุของ *Spirulina platensis* ที่เลี้ยงในปุ๋ยผสมมูลสุกร. การประชุมวิชาการประมงครั้งที่ 3 "เพื่อความมั่นคงด้านการประมงและทรัพยากรทางน้ำ" 8-9 ธันวาคม 2551. คณะเทคโนโลยีการประมงและทรัพยากรทางน้ำ มหาวิทยาลัยแม่โจ้ จังหวัดเชียงใหม่ น. 105-115
19. อทิยา สะพานกลาง และ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. .การดูดซับตะกั่วโดยไซยาโนแบคทีเรีย Stigonema sp. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า 28:20-30.
20. อภิญญา สโมสร, สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์, อำมร อินทร์สังข์ และ จรงศักด์ พุมนวน. 2553. ประสิทธิภาพของสารสกัดหยาบจากสาหร่ายขนาดใหญ่ ต่อไรฝุ่น *Dematophagoides pteronyssinus* (Trouessart) โดยวิธีสัมผัส. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 3-5 กุมภาพันธ์ 2553. น 184-191.
21. อทิยา สะพานกลาง และ สุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2553. การเจริญเติบโตและการดูดซับตะกั่วจากน้ำเสียโดยไซยาโนแบคทีเรีย *Phormidium* sp. ที่เลี้ยงภายใต้สารอาหารที่ความเข้มข้นแตกต่างกัน. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 3-5 กุมภาพันธ์ 2553. น 193-202.
22. นำถม ตั้งคำ และสุนีรัตน์ เรืองสมบูรณ์. 2553. คุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงปลาดุกที่มีการเจริญเติบโตอย่างหนาแน่นของแพลงก์ตอนพืช. การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 48 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ 3-5 กุมภาพันธ์ 2553. น 305-312.

งานวิจัยที่ตีพิมพ์เป็นภาษาอังกฤษ

1. Ruangsomboon, S., Chidthaisong, A., Bunnag, B., Inthorn, D. and Harvey, N.W. 2004. Bioremoval of Lead by cyanobacteria : *Gloeocapsa* sp. and *Calothrix marchica*. Proceeding of the 1st KMITL International Conference on Integration of Science and technology. 2:188-191.
2. Ruangsomboon, S., Chidthaisong, A., Bunnag, B., Inthorn, D. and Harvey, N.W. 2004 . Lead (Pb^{2+}) Adsorption potentials of *Gloeocapsa* sp. and role of its capsular polysaccharides. Proceeding of The International Conference on Sustainable Energy and Environment. 3(011):210-213 .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3. Ruangsomboon, S., A. Chidthaisong, B. Bunnag, D. Inthorn and N.W. Harvey. 2004b. Lead (Pb^{2+}) Adsorption potentials of *Gloeocapsa* sp. and role of its capsular polysaccharides. Proceeding of The International Conference on Sustainable Energy and Environment. 3(011):210-213 .
4. Ruangsomboon, S. and Wongrat, L. 2006. Bioaccumulation of cadmium in an experimental aquatic food chain involving phytoplankton (*C. regularis)*, zooplankton (*M. macrocopa)*, and the predatory catfish. Aquatic Toxicology. 78:15-20.
5. Ruangsomboon, S., Chidthaisong, A., Bunnag, B., Inthorn, D. and Harvey, N.W. 2006. Production, composition and Pb^{2+} adsorption characteristics of capsular polysaccharides extracted from a cyanobacterium *Gloeocapsa gelatinosa.* Water Research. 40:3759-3766.
6. Ruangsomboon, S. and Wongrat, L. 2007. Bioaccumulation of Cadmium in an Experimental Aquatic Ecosystem Involving Phytoplankton, Zooplankton, Catfish and Sediment. Kasetsart Journal (Natural Science) 41:180-185.
7. Ruangsomboon, S. 2007. Removal of lead (Pb^{2+}) by the cyanobacterium *Phormidium angustissimum*. Proceedings of The International Conference on Integration of Science and Technology for Sustainable Development (ICIST) "Biological Diversity, Food and Agricultural Technology", Bangkok, Thailand. 26-27 April 2007, 340-344.
8. Ruangsomboon, S., Chidthaisong, A., Bunnag, B., Inthorn, D. and Harvey, N.W. 2007. Lead (Pb^{2+}) adsorption characteristics and sugar composition of capsular polysaccharides of cyanobacterium *Calothrix marchica.* Songklanakarin Journal of Science and Technology. 29:529-541.
9. Ruangsomboon, S. 2007. Removal of lead (Pb^{2+}) by the cyanobacterium *Phormidium angustissimum*. Proceedings of The International Conference on Integration of Science and Technology for Sustainable Development (ICIST) "Biological Diversity, Food and Agricultural Technology". 26-27 April 2007. p. 340-344.
10. Ruangsomboon, S. 2007. Nitrate, ammonia and orthophosphate removal from wastewater by duckweed *Lemna perpusilla* Torr. Proceedings of International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology. 21-23 November 2007. p. 922-925.
11. Ruangsomboon, S. 2007. Study of the parameters affecting the binding of cadmium (Cd^{2+}) in solution by *Phormidium angustissimum* West & G.S. West. Proceedings of International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology. 21-23 November 2007. p. 918-921.
12. Ruangsomboon, S. and Choochote, S. 2007. Effect of feeding diets containing *Nostoc commune* on growth, survival, protein and carotenoid content of red tilapia *Oreochromis niloticus*. Proceedings of International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology. 21-23 November 2007. p. 772-775.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.
Forbidden to modify the content, and cite the document when use.