ภาคผนวก

Supplementary data

การคำนวณปริมาณธาตุใน Major salts ในสูตรอาหารเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช MS ดัดแปลงระดับธาตุฟอสฟอรัส

การคำนาณปริมาณ P ในอาหารสูตร MS ทั่วไป

จากสูตร KH_2PO_4 ใช้ 170 mg/L (ppm)

; จำนวนมวลโมเลกุล KH_2PO_4

K มวลโมเลกุล 39.10

H_2 มวลโมเลกุล 1.00 x 2 = 2

P มวลโมเลกุล 30.97

O_4 มวลโมเลกุล 16.00 x 4 = 64

$\therefore$ ผลรวมมวลโมเลกุลของ KH_2PO_4 คือ 136.07

; หาปริมาณ P ในสูตร KH_2PO_4 ใช้ 170 mg/L (ppm)

เมื่อมวลโมเลกุลทั้งหมด 136.07 มีสารที่ใช้ทั้งหมดอยู่ 170 ppm

ถ้ามวลโมเลกุลทั้งหมด 30.97 จะมีสารที่ใช้ทั้งหมด $\frac{170 \times 30.97}{136.07} = 38.69$ ppm

กำหนดให้มี P = 0 ppm

เมื่อ MS มี P เป็นองค์ประกอบในสูตร KH_2PO_4 เมื่อกำหนดให้ P = 0 ppm จึงมีผลทำให้ K มีการสูญเสียไป ดังนั้นจึงคำนวณหา K ที่สูญเสียไป

; ในมวลโมเลกุล 136.07 มีสารที่ใช้ทั้งหมดอยู่ 170 ppm

ถ้ามวลโมเลกุลทั้งหมด 39.10 จะมีสารที่ใช้ทั้งหมด $\frac{170 \times 39.10}{136.07} = 48.85$ ppm

ดังนั้น K ที่สูญเสียไป48.85 ppm จึงต้องเพิ่ม K ในสูตร KNO_3 ที่มีปริมาณอยู่ทั้งหมด 1900 mg/L

จากสูตร KNO_3 ใช้ 1900 mg/L (ppm)

; จำนวนมวลโมเลกุล KNO_3

K มวลโมเลกุล 39.10

N มวลโมเลกุล 14.01

O_3 มวลโมเลกุล 16.00 x 3 = 48.00

$\therefore$ ผลรวมมวลโมเลกุลของ KNO_3 คือ 101.11

; หาปริมาณ K ในสูตร KNO_3 ใช้ 1900 mg/L (ppm)

เมื่อมวลโมเลกุลทั้งหมด 101.11 มีสารที่ใช้ทั้งหมดอยู่ 1900 ppm

ถ้ามวลโมเลกุลทั้งหมด 39.10 จะมีสารที่ใช้ทั้งหมด $\frac{1900 \times 339.10}{101.11} = 734.74$ ppm

ต้องการเพิ่ม K ที่สูญเสียไป 48.85 ppm

; 734.74 + 48.85 = 783.59 ppm

คำนวณปริมาณ KNO_3 ที่จะต้องใช้

; เมื่อ K มี 734.74 ppm สารที่ใช้ทั้งหมดอยู่ 1900 ppm

ถ้า K มี 783.59 ppm จะใช้ทั้งหมด $\frac{1900 \times 783.59}{734.74} = 2026.32$ ppm

ดั้งนั้นปริมาณ KNO_3 ที่จะต้องใช้คือ 2026.32 ppm

เมื่อ N เป็นองค์ประกอบในสูตร KNO_3 เมื่อเพิ่ม K ในสูตร จึงมีผลทำให้ N เพิ่มขึ้นเกินไป ดังนั้นจึง คำนวณหาN ที่เพิ่มเกินไป

หาปริมาณ N ในสูตรปกติของ KNO_3

; ในมวลโมเลกุล 101.11 มีสารที่ใช้ทั้งหมดอยู่ 1900 ppm

ถ้ามวลโมเลกุลทั้งหมด 14.01 จะมีสารที่ใช้ทั้งหมด $\frac{1900 \times 14.01}{101.11} = 263.27$ ppm

คำนวณหาN ที่เพิ่มเกินไป

; เมื่อสารที่ใช้ทั้งหมด 1900 ppm มีปริมาณ N ทั้งหมด 263.27 ppm

ถ้าสารที่ใช้ทั้งหมด 2026.32 ppm จะมีปริมาณ N ทั้งหมด $\frac{263.27 \times 2026.32}{1900} = 280.77$ ppm

$\therefore$ N ส่วนเกินคือ 280.77-263.27 = 17.50 ppm

ดังนั้น N ที่เพิ่มเกินไป 17.50 ppm จึงต้องลด N ในสูตร NH_4NO_3 ที่มีปริมาณอยู่ทั้งหมด 1650 mg/L จากสูตร NH_4NO_3 ใช้ 1650 mg/L (ppm)

; จำนวนโมเลกุล NH_4NO_3

N_2 มวลโมเลกุล 14.01 x 2 = 28.02

H_4 มวลโมเลกุล 1.00 x 4 = 4.00

O_3 มวลโมเลกุล 16.00 x 3 = 48.00

$\therefore$ ผลรวมมวลโมเลกุลของ NH_4NO_3 คือ 80.02

; หาปริมาณ N ในสูตร NH_4NO_3 ใช้ 1650 mg/L (ppm)

เมื่อมวลโมเลกุลทั้งหมด 80.02 มีสารที่ใช้ทั้งหมดอยู่ 1650 ppm

ถ้ามวลโมเลกุลทั้งหมด 39.10 จะมีสารที่ใช้ทั้งหมด $\frac{1650 \times 28.02}{80.02} = 577.77$ ppm

ต้องการลด N ที่เพิ่มเกินไป 17.50 ppm

; 577.77 – 17.50 = 560.27 ppm

คำนวณปริมาณ NH_4NO_3 ที่จะต้องใช้

; เมื่อ N มี 577.77 ppm สารที่ใช้ทั้งหมดอยู่ 1650 ppm

ถ้า N มี 560.27 ppm จะใช้ทั้งหมด $\frac{1650 \times 560.27}{577.77} = 1600.02$ ppm

ดั้งนั้นปริมาณ NH_4NO_3 ที่จะต้องใช้คือ 1600.02 ppm

<u>กำหนดให้มี P = 2.5 ppm</u>

เมื่อปกติ P 38.69 ppm มีปริมาณ KH_2PO_4 อยู่ 170 ppm

ถ้าให้ P 2.5 ppm จะมีปริมาณ KH_2PO_4 อยู่ $\frac{170 \times 2.5}{38.69}$ = 10.98 ppm

ดั้งนั้นปริมาณ KH_2PO_4 ที่จะต้องใช้คือ 10.98 ppm

โดย MS มี P เป็นองค์ประกอบในสูตร KH_2PO_4 เมื่อกำหนดให้ P = 2.5 ppm จึงมีผลทำให้ K มีการสูญเสียไป ดังนั้นจึงคำนวณหา K ที่สูญเสียไป

; เมื่อปกติ KH_2PO_4 ที่ใช้ทั้งหมด 170 ppm มี K อยู่ 48.85ppm

ถ้าให้ KH_2PO_4 ที่ใช้ทั้งหมด 10.98 ppm จะมี K อยู่ $\frac{48.85 \times 10.98}{170}$ = 3.16 ppm

พบว่ามี K ลดลง 48.85 ppm – 3.16 ppm = 45.69 ppm

ดังนั้น K ที่สูญเสียไป 45.69 ppm จึงต้องเพิ่ม K ในสูตร KNO_3 ที่มีปริมาณอยู่ทั้งหมด 1900 mg/L

; ต้องการเพิ่ม K ที่สูญเสียไป เมื่อ K ปกติในสูตรมี 734.74 ppm

; 734.74 + 45.69 = 780.43 ppm

คำนวณปริมาณ KNO_3 ที่จะต้องใช้

; เมื่อปกติ K 734.74 ppm มี KNO_3 อยู่ทั้งหมด 1900 ppm

ถ้าให้ K 780.43 ppm จะมี KNO_3 อยู่ทั้งหมด $\frac{1900 \times 780.43}{734.74}$ = 2018.15 ppm

ดั้งนั้นปริมาณ KNO_3 ที่จะต้องใช้คือ 2018.15 ppm

เมื่อ N เป็นองค์ประกอบในสูตร KNO_3 เมื่อเพิ่ม K ในสูตร จึงมีผลทำให้ N เพิ่มขึ้นเกินไป ดังนั้นจึงคำนวณหาN ที่เพิ่มเกินไป

หาปริมาณ N ในสูตรปกติของ KNO_3

; เมื่อปกติ KNO_3ที่ใช้ทั้งหมด 1900 ppm มีปริมาณ N ทั้งหมด 263.27 ppm

ถ้าให้ KNO_3ที่ใช้ทั้งหมด 2018 ppm จะมีปริมาณ N ทั้งหมด $\frac{263.27 \times 2018}{1900}$ = 279.62 ppm

$\therefore$ N ส่วนเกินคือ 279.62 - 263.27 = 16.35 ppm

ดังนั้น N ที่เพิ่มเกินไป 16.35 ppm จึงต้องลด N ในสูตร NH_4NO_3 ที่มีปริมาณอยู่ทั้งหมด 1650 mg/L

ต้องการลด N ที่เพิ่มเกินไป เมื่อ N ปกติในสูตรมี 577.77

; 577.77 – 16.35 = 561.42 ppm

คำนวณปริมาณ NH_4NO_3 ที่จะต้องใช้

; เมื่อ N มี 577.77 ppm สารที่ใช้ทั้งหมดอยู่ 1650 ppm

ถ้า N มี 561.42 ppm จะใช้ NH_4NO_3ทั้งหมด $\frac{1650 \times 561.42}{577.77}$ = 1603.31 ppm

ดั้งนั้นปริมาณ NH_4NO_3 ที่จะต้องใช้คือ 1603.31 ppm

กำหนดให้มี P = 5 ppm

เมื่อปกติ P 38.69 ppm มีปริมาณ KH_2PO_4 อยู่ 170 ppm

ถ้าให้ P 5 ppm จะมีปริมาณ KH_2PO_4 อยู่ $\frac{170 \times 5}{38.69}$ = 21.97 ppm

ดั้งนั้นปริมาณ KH_2PO_4 ที่จะต้องใช้คือ 21.97 ppm

โดย MS มี P เป็นองค์ประกอบในสูตร KH_2PO_4 เมื่อกำหนดให้ P = 5 ppm จึงมีผลทำให้ K มีการสูญเสียไป ดังนั้นจึงคำนวณหา K ที่สูญเสียไป

; เมื่อปกติ KH_2PO_4 ที่ใช้ทั้งหมด 170 ppm มี K อยู่ 48.85ppm

ถ้าให้ KH_2PO_4 ที่ใช้ทั้งหมด 21.97 ppm จะมี K อยู่ $\frac{48.85 \times 21.97}{170}$ = 6.31 ppm

พบว่ามี K ลดลง 48.85 ppm – 6.31 ppm = 42.54 ppm

ดังนั้น K ที่สูญเสียไป 42.54 ppm จึงต้องเพิ่ม K ในสูตร KNO_3 ที่มีปริมาณอยู่ทั้งหมด 1900 mg/L

; ต้องการเพิ่ม K ที่สูญเสียไป เมื่อ K ปกติในสูตรมี 734.74 ppm

; 734.74 + 42.54 = 777.28 ppm

คำนวณปริมาณ KNO_3 ที่จะต้องใช้

; เมื่อปกติ K 734.74 ppm มี KNO_3 อยู่ทั้งหมด 1900 ppm

ถ้าให้ K 777.28 ppm จะมี KNO_3 อยู่ทั้งหมด $\frac{1900 \times 777.28}{734.74}$ = 2010.01 ppm

ดั้งนั้นปริมาณ KNO_3 ที่จะต้องใช้คือ 2010.01 ppm

เมื่อ N เป็นองค์ประกอบในสูตร KNO_3 เมื่อเพิ่ม K ในสูตร จึงมีผลทำให้ N เพิ่มขึ้นเกินไป ดังนั้นจึงคำนวณหาN ที่เพิ่มเกินไป

หาปริมาณ N ในสูตรปกติของ KNO_3

; เมื่อปกติ KNO_3ที่ใช้ทั้งหมด 1900 ppm มีปริมาณ N ทั้งหมด 263.27 ppm

ถ้าให้ KNO_3ที่ใช้ทั้งหมด 2010.01 ppm จะมีปริมาณ N $\frac{263.27 \times 2010.01}{1900}$ = 278.51 ppm

$\therefore$ N ส่วนเกินคือ 278.51 - 263.27 = 15.24 ppm

ดังนั้น N ที่เพิ่มเกินไป 16.35 ppm จึงต้องลด N ในสูตร NH_4NO_3 ที่มีปริมาณอยู่ทั้งหมด 1650 mg/L

ต้องการลด N ที่เพิ่มเกินไป เมื่อ N ปกติในสูตรมี 577.77

; 577.77 – 15.24 = 562.53 ppm

คำนวณปริมาณ NH_4NO_3 ที่จะต้องใช้

; เมื่อ N มี 577.77 ppm สารที่ใช้ทั้งหมดอยู่ 1650 ppm

ถ้า N มี 562.53ppm จะใช้ NH_4NO_3ทั้งหมด $\frac{1650 \times 562.53}{577.77}$ = 1606.48 ppm

ดั้งนั้นปริมาณ NH_4NO_3 ที่จะต้องใช้คือ 1606.48 ppm

กำหนดให้มี P = 7.5 ppm

เมื่อปกติ P 38.69 ppm มีปริมาณ KH_2PO_4 อยู่ 170 ppm

ถ้าให้ P 7.5 ppm จะมีปริมาณ KH_2PO_4 อยู่ $\frac{170 \times 7.5}{38.69}$ = 32.95 ppm

ดั้งนั้นปริมาณ KH_2PO_4 ที่จะต้องใช้คือ 32.95 ppm

โดย MS มี P เป็นองค์ประกอบในสูตร KH_2PO_4 เมื่อกำหนดให้ P = 7.5 ppm จึงมีผลทำให้ Kมีการสูญเสียไป ดังนั้นจึงคำนวณหา K ที่สูญเสียไป

; เมื่อปกติ KH_2PO_4 ที่ใช้ทั้งหมด 170 ppm มี K อยู่ 48.85ppm

ถ้าให้ KH_2PO_4 ที่ใช้ทั้งหมด 32.95 ppm จะมี K อยู่ $\frac{48.85 \times 32.95}{170}$ = 9.47 ppm

พบว่ามี K ลดลง 48.85 ppm – 9.47 ppm = 39.38 ppm

ดังนั้น K ที่สูญเสียไป 39.38 ppm จึงต้องเพิ่ม K ในสูตร KNO_3 ที่มีปริมาณอยู่ทั้งหมด 1900 mg/L

; ต้องการเพิ่ม K ที่สูญเสียไป เมื่อ K ปกติในสูตรมี 734.74 ppm

; 734.74 + 39.38 = 774.12 ppm

คำนวณปริมาณ KNO_3 ที่จะต้องใช้

; เมื่อปกติ K 734.74 ppm มี KNO_3 อยู่ทั้งหมด 1900 ppm

ถ้าให้ K 774.12 ppm จะมี KNO_3 อยู่ทั้งหมด $\frac{1900 \times 774.12}{734.74}$ = 2001.84 ppm

ดั้งนั้นปริมาณ KNO_3 ที่จะต้องใช้คือ 2001.84 ppm

เมื่อ N เป็นองค์ประกอบในสูตร KNO_3 เมื่อเพิ่ม K ในสูตร จึงมีผลทำให้ N เพิ่มขึ้นเกินไป ดังนั้นจึงคำนวณหาN ที่เพิ่มเกินไป

หาปริมาณ N ในสูตรปกติของ KNO_3

; เมื่อปกติ KNO_3ที่ใช้ทั้งหมด 1900 ppm มีปริมาณ N ทั้งหมด 263.27 ppm

ถ้าให้ KNO_3ที่ใช้ทั้งหมด 2001.84 ppm จะมีปริมาณ N $\frac{263.27 \times 2001.84}{1900}$ = 277.38 ppm

$\therefore$ N ส่วนเกินคือ 277.38 - 263.27 = 14.11 ppm

ดังนั้น N ที่เพิ่มเกินไป 14.11 ppm จึงต้องลด N ในสูตร NH_4NO_3 ที่มีปริมาณอยู่ทั้งหมด 1650 mg/L

ต้องการลด N ที่เพิ่มเกินไป เมื่อ N ปกติในสูตรมี 577.77

; 577.77 – 14.11 = 563.66 ppm

คำนวณปริมาณ NH_4NO_3 ที่จะต้องใช้

; เมื่อ N มี 577.77 ppm สารที่ใช้ทั้งหมดอยู่ 1650 ppm

ถ้า N มี 563.66 ppm จะใช้ NH_4NO_3ทั้งหมด $\frac{1650 \times 563.66}{577.77}$ = 1609.71 ppm

ดั้งนั้นปริมาณ NH_4NO_3 ที่จะต้องใช้คือ 1609.71 ppm

<u>กำหนดให้มี P = 10 ppm</u>

เมื่อปกติ P 38.69 ppm มีปริมาณ KH_2PO_4 อยู่ 170 ppm

ถ้าให้ P 10 ppm จะมีปริมาณ KH_2PO_4 อยู่ $\frac{170 \times 10}{38.69}$ = 43.94 ppm

ดั้งนั้นปริมาณ KH_2PO_4 ที่จะต้องใช้คือ 43.94 ppm

โดย MS มี P เป็นองค์ประกอบในสูตร KH_2PO_4 เมื่อกำหนดให้ P = 10 ppm จึงมีผลทำให้ K มีการสูญเสียไป ดังนั้นจึงคำนวณหา K ที่สูญเสียไป

; เมื่อปกติ KH_2PO_4 ที่ใช้ทั้งหมด 170 ppm มี K อยู่ 48.85ppm

ถ้าให้ KH_2PO_4 ที่ใช้ทั้งหมด 43.94 ppm จะมี K อยู่ $\frac{48.85 \times 43.94}{170}$ = 12.63 ppm

พบว่ามี K ลดลง 48.85 ppm – 12.63 ppm = 36.22 ppm

ดังนั้น K ที่สูญเสียไป 36.22 ppm จึงต้องเพิ่ม K ในสูตร KNO_3 ที่มีปริมาณอยู่ทั้งหมด 1900 mg/L

; ต้องการเพิ่ม K ที่สูญเสียไป เมื่อ K ปกติในสูตรมี 734.74 ppm

; 734.74 + 36.22 = 770.96 ppm

คำนวณปริมาณ KNO_3 ที่จะต้องใช้

; เมื่อปกติ K 734.74 ppm มี KNO_3 อยู่ทั้งหมด 1900 ppm

ถ้าให้ K 770.96 ppm จะมี KNO_3 อยู่ทั้งหมด $\frac{1900 \times 770.96}{734.74}$ = 1993.66 ppm

ดั้งนั้นปริมาณ KNO_3 ที่จะต้องใช้คือ 1993.66 ppm

เมื่อ N เป็นองค์ประกอบในสูตร KNO_3 เมื่อเพิ่ม K ในสูตร จึงมีผลทำให้ N เพิ่มขึ้นเกินไป ดังนั้นจึงคำนวณหาN ที่เพิ่มเกินไป

หาปริมาณ N ในสูตรปกติของ KNO_3

; เมื่อปกติ KNO_3ที่ใช้ทั้งหมด 1900 ppm มีปริมาณ N ทั้งหมด 263.27 ppm

ถ้าให้ KNO_3ที่ใช้ทั้งหมด 1993.66 ppm จะมีปริมาณ N $\frac{263.27 \times 1993.66}{1900}$ = 276.25 ppm

$\therefore$ N ส่วนเกินคือ 276.25 - 263.27 = 12.98 ppm

ดังนั้น N ที่เพิ่มเกินไป 16.35 ppm จึงต้องลด N ในสูตร NH_4NO_3 ที่มีปริมาณอยู่ทั้งหมด 1650 mg/L

ต้องการลด N ที่เพิ่มเกินไป เมื่อ N ปกติในสูตรมี 577.77

; 577.77 – 12.98 = 564.79 ppm

คำนวณปริมาณ NH_4NO_3 ที่จะต้องใช้

; เมื่อ N มี 577.77 ppm สารที่ใช้ทั้งหมดอยู่ 1650 ppm

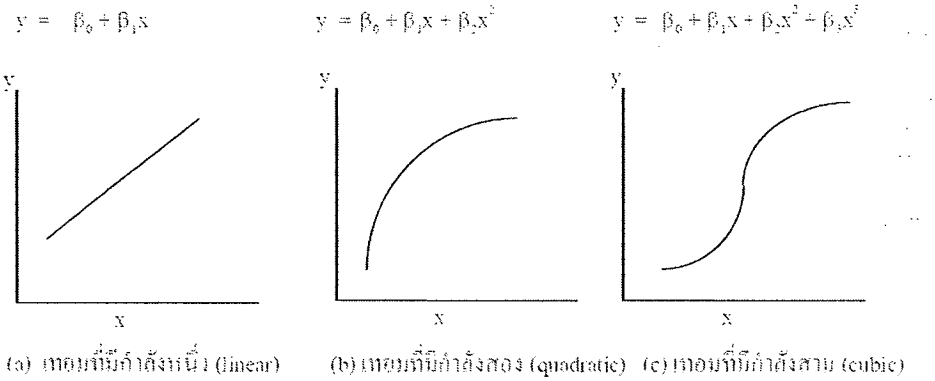
ถ้า N มี 564.79 ppm จะใช้ NH_4NO_3ทั้งหมด $\frac{1650 \times 564.79}{577.77}$ = 1612.93 ppm

ดั้งนั้นปริมาณ NH_4NO_3 ที่จะต้องใช้คือ 1612.93 ppm

ฟังก์ชันโพลีโนเมียล

ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตาม Y และตัวแปรต้น X ซึ่งมีลักษณะเนปริมาณสามารถอธิบายได้ด้วยตัวแบบโพลีโนเมียล (ภาพที่ 40)

$$y = \beta_0 + \beta_1 x + \beta_2 x^2 + \ldots + \beta_p x^p + e$$



ภาพที่ 40 ตัวอย่างของเส้นโค้งโพลีโนเมียล

ตารางภาคผนวก

ตารางที่ 44 สูตรอาหารเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช MS (Murashige and Skoog , 1962)

องค์ประกอบ	ปริมาณที่ใช้
Major salts, mg/L	
$NH_4 NO_3$	1650
KNO_3	1900
$CaCl_2.2H_2O$	440
$MgSO_4.7H_2O$	370
KH_2PO_4	170
Minor salts, mg/L	
$MnSO_4.4H_2O$	22.3
$ZnSO_4.5H_2O$	8.6
H_3BO_3	6.2
KI	0.33
$Na_2MoO_4.2H_2O$	0.25

$CuSO_4.5H_2O$	0.025
$CoCl_2.H_2O$	0.025
$FeSO_4.7H_2O$	27.85
$Na_2EDTA.2H_2O$	37.25
Vitamine and organics, mg/L	
Nicotinic acid	0.5
Thiamine-HCl	0.1
Pyridoxine-HCl	0.5
Glycine	2
Myo-inosital	100
Hormones, mg/L	
Auxin	0.1-0.5
Cytakinin	0.01-2

ตารางที่ 45 ปริมาณธาตุใน Major salts ในสูตรอาหารเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช MS

ธาตุอาหาร	ความเข้มข้นทั้งหมด (mg/L)
N	841.04
P	38.69
K	783.59
Ca	158.89
Cl	281.11
Mg	74.71
S	98.56

ตารางที่ 46 ปริมาณธาตุใน Major salts ในสูตรอาหารเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช MS ดัดแปลงระดับธาตุฟอสฟอรัส

Treatment	KH_2PO_4 (mg/L)	KNO_3 (mg/L)	NH_4NO_3 (mg/L)	$CaCl_2.2H_2O$ (mg/L)	$MgSO_4.7H_2O$ (mg/L)
P 0.0 ppm	0	2026.32	1600.02	440	370
P 2.5 ppm	10.98	2018.15	1603.31	440	370
P 5.0 ppm	21.97	2010.01	1606.48	440	370
P 7.5 ppm	32.95	2001.84	1609.71	440	370
P 10.0 ppm	43.94	1993.66	1612.93	440	370