Kasetsart J. (Nat. Sci.) 29 : 345-357 (1995) ว. เกษตรศาสตร์ (วิทย.) ปีที่ 29 : 345-357 (2538)5

สมการคำนวณอัตราปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับข้าวโพดจากการวิเคราะห์ดิน

Equations for Calculating N-Fertilizer Rates for Maize from Soil Analysis

อำนาจ สุวรรณฤทธิ์[1] ปิยะ เฉลิมกลิ่น[2] และ จรงค์ รุ่งช่วง[3]

Amnat Suwanarit, Piya Chalermglin, and Jarong Rungchaung

ABSTRACT

Comparisons were made among reliability of 9 chemical methods for evaluating the availability to maize of N in soils and for calculating N-fertilizer rates that would produce high maize yields while minimize N fertilizer and gave no detrimental environmental effects. The methods studied were: (1) measuring soil organic matter by Walkley and Black's method, (2) measuring total soil N by Kjeldahl's method, (3) extracting soil N with acidified K_2CrO_7 solution, (4) extracting soil N with basified $KMnO_4$ solution, (5) extracting soil N with acidified $KMnO_4$ solution, (6) extraction soil N with a solution of $CaCl_2$ and K_2SO_4, (7) extracting soil nitrate according to Keeney and Nelson (1982) and then measuring the extracted nitrate by Kjeldahl method, (8) extracting soil nitrate according to Iversen *et al.* (1985) and then measuring the extracted nitrate with nitrate specific electrode and (9) measuring nitrate in maize shoots at 1 month of plant age. The study was made with field-plot experiments at 20 sites using Suwan-3 maize.

Four methods, namely methods (1), (2), (7) and (8), were found superior to the others. The equations for calculating rates of N for maize from these methods were: (a) log (100 - y) = 2 - 0.347 b - 0.0377 x for method (1), (b) log (100 - y) = 2 - 0.000593 b - 0.0298 x for method (2), (c) log (100 - y) = 2 - 0.0389

[1] ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand.

[2] สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย ถ.พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพฯ
Thailand's Institute of Scientific and Technological Research, Phaholyothin Road, Bangkok 10900, Thailand.

[3] ศูนย์วิจัยข้าวโพดข้าวฟ่างแห่งชาติ ต.กลางดง อ.ปากช่อง จ.นครราชสีมา
The National Corn and Sorghum Research Centre, Pakchong, Nakorn Ratchasima 30320, Thailand.

b - 0.0326 x for method (7) and (d) log (100-y) = 2 - 0.0432 b - 0.0238 x for method (8); where y was the obtained grain yield in percent of the maximum yield; b, the index of soil-N availability [as % of soil organic matter for method (1) and ppm N for methods (2), (7) and (8)] and x, rate of the required fertiizer N in kg N per rai(6.25 rais =1ha). Considering with other factors in conjunction to the reliability, methods (1) and (8) were recommended.

Key words: equation, N fertilizer, maize, soil analysis, chemical analysis

บทคัดย่อ

ได้ทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำของวิธีเคมี 9 วิธี สำหรับใช้ประเมินความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินต่อข้าวโพดและกำหนดอัตราปุ๋ยที่เหมาะสมสำหรับดินแต่ละแห่ง เพื่อให้ได้ผลผลิตสูง พร้อมกับประหยัดปุ๋ย และป้องกันการเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม วิธีเคมีที่ศึกษา คือ (1) วิธีที่วัดปริมาณของอินทรียวัตถุในดินตามวิธีของ Walkley and Black (2) วิธีที่วัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน ตามวิธีของ Kjeldahl (3) วิธีที่สกัดไนโตรเจนในดินด้วยโพแทสเซียมไดโครเมตในสภาพกรด (4) วิธีที่สกัดไนโตรเจนในดินด้วยด่างทับทิมในสภาพเบส (5) การสกัดไนโตรเจนในดินด้วยด่างทับทิมในสภาพกรด (6) วิธีที่สกัดไนโตรเจนในดินด้วยแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับโพแทสเซียมซัลเฟต (7) วิธีที่สกัดไนเตรตในดินตามวิธี Keeney และ Nelson (1982) และวัดปริมาณไนเตรตที่สกัดได้โดยวิธีกลั่น (8) วิธีที่สกัดไนเตรตในดินตามวิธี Iversen และคณะ (1985) และวัดไนเตรตที่สกัดได้โดย nitrate specific electrode และ (9)วิธีที่วัดปริมาณไนเตรตในส่วนเหนือดินของข้าวโพดเมื่ออายุ 1 เดือน ทำการทดลองในไร่รวม 20 แปลง โดยใช้ข้าวโพดพันธุ์สุวรรณ-3

ผลปรากฏว่า วิธีที่ให้ความแม่นยำเด่นกว่าวิธีอื่นๆมี 4 วิธี คือ วิธี (1), (2), (7) และ (8) สมการคำนวณอัตราปุ๋ยไนโตรเจนจากการวิเคราะห์ดินโดยวิธีทั้งสี่นี้ คือ (a) log (100 - y) = 2 - 0.347 b - 0.0377 x สำหรับวิธี (1), (b) log (100 - y) = 2 - 0.000593 b 0.0298 x สำหรับวิธี (2), (c) log (100 - y) = 2 - 0.0389 b - 0.0326 x สำหรับวิธี (7) และ (d) log (100-y) = 2 - 0.0432 b - 0.0238 x สำหรับวิธี (8) เมื่อ y เป็นผลผลิตที่ได้คิดเป็นร้อยละของผลผลิตสูงสุด, b เป็นดรรชนีความเป็นประโยชน์ของไนโตรจน[เป็นร้อยละของอินทรียวัตถุในดินสำหรับวิธี (1) และ ppm N สำหรับวิธี (2), (7) และ (8)] และ x เป็นอัตราปุ๋ยไนโตรเจนเป็นกิโลกรัมไนโตรเจนต่อไร่ เมื่อนำปัจจัยอื่นๆ มาประกอบการพิจารณาด้วยวิธีที่เหมาะสมที่สุดคือ วิธี (1) และ (8)

คำนำ

ดินแต่ละแห่งอาจมีความสามารถในการให้ไนโตรเจนแก่พืชแตกต่างกันไปอย่างกว้างขวาง ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเกิดดิน และการใช้ที่ดิน การใช้ที่ดินมีผลเป็นอย่างมากต่อความสามารถในการให้ไนโตรเจนแก่พืชของดิน จนทำให้ดินที่มีกำเนิดหรือมีลักษณะคล้ายคลึงกันอาจมีความสามารถในการให้ไนโตรเจนแก่พืชแตกต่างกันมาก เช่น ดินในชุดดินเดียวกันมีประวัติการใช้แตกต่างกัน อาจมีความสามารถในการให้ไนโตรเจนแตกต่างกันเป็นอย่างมาก จนทำให้ดินบางแห่งให้ผลผลิตสูง โดยไม่ต้องใส่ปุ๋ย แต่ก็มีดินบางแห่งที่จัดอยู่ในชุดดินเดียวกัน

ให้ผลผลิตต่ำมากจนแทบไม่คุ้มต่อการปลูกหากไม่ใส่ปุ๋ยไนโตรเจน ดังนั้น การแนะนำปุ๋ยโดยอาศัยการจำแนกตามลักษณะดิน เช่น ชุดดิน เป็นหลักทำให้มีโอกาสคลาดเคลื่อนได้มาก โดยอาจทำให้อัตราปุ๋ยที่แนะนำยังต่ำเกินไปสำหรับดินบางแห่งแต่อาจจะสูงเกินไปสำหรับดินในแห่งอื่น ซึ่งในกรณีแรกจะทำให้ได้ผลผลิตไม่สูงเท่าที่ควร ส่วนในกรณีหลัง นอกจากจะทำให้สิ้นเปลืองปุ๋ยแล้ว ยังอาจจะก่อให้เกิดการชะล้างปุ๋ยไนโตรเจนที่เหลือเฟือลงสู่แหล่งน้ำได้ วิธีที่จะช่วยป้องกันปัญหาดังกล่าวก็คือ การประเมินความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดิน เพื่อประกอบการกำหนดอัตราปุ๋ย และการประเมินโดยอาศัยวิธีการทางเคมีเป็นวิธีที่ยอมรับว่าประหยัดและเหมาะสมที่สุดวิธีหนึ่ง

การประเมินสถานภาพ หรือระดับความเป็นประโยชน์ ของไนโตรเจนในดินโดยวิธีทางเคมีสามารถกระทำได้หลายวิธี แต่เพื่อให้ได้ความถูกต้องแม่นยำจะต้องมีการทดสอบความแม่นยำของแต่ละวิธีสำหรับพืชแต่ละชนิดและแต่ละภูมิอากาศ โดยนำค่าประเมินที่ได้มาศึกษาความสัมพันธ์กับพฤติกรรมการตอบสนองของพืชในด้านผลผลิต และการดูดไนโตรเจนสำหรับสภาพดินไร่ได้มีการศึกษากับดินชนิดต่าง ๆ ในสภาพต่าง ๆ กัน โดยผู้ทดลองแต่ละรายได้รายงานวิธีที่พบว่าให้ความแม่นยำสูงสุดแตกต่างกันไป (ทรงศักดิ์, 2528; Metha and Singh, 1971; Ryan *et al.*, 1971; Singh and Brar, 1973; Geist and Hazard 1975; Fox and Piekielek, 1978, 1983; Iversen *et al.*,1985) อย่างไรก็ตาม ในประเทศไทยยังไม่มีการทดสอบวิธีต่าง ๆ ในสภาพไร่

การทดลองที่รายงานนี้มีวัตถุประสงค์หลัก คือ (1) เพื่อเปรียบเทียบวิธีทางเคมีที่ได้มีผู้รายงานว่าให้ความแม่นยำสูงในการประเมินความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดิน เพื่อคัดเลือกวิธีที่ให้ความแม่นยำสูงมาใช้กับข้าวโพดในประเทศไทย และ (2) สร้างสมการสำหรับคำนวณอัตราปุ๋ยไนโตรเจน จากการประเมินความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินโดยวิธีที่คัดเลือกได้ในข้อ (1)

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองในไร่

ทำการทดลองปลูกข้าวโพดสุวรรณ 3 กับดินที่มีปริมาณอินทรียวัตถุ 1-3 % และ pH 4.5-7.5 จำนวน 20 แปลง โดยปลูกบนชุดดินปากช่อง 7 แปลง ชุดดินลำนารายณ์ 5 แปลง ชุดดินตาคลี 6 แปลง ชุดดินกำแพงแสน 1 แปลง และชุดดินโคราช 1 แปลง รายละเอียดสำหรับแต่ละแปลงทดลองแสดงใน Table 1 เริ่มการทดลองในเดือนสิงหาคม 2532 สิ้นสุดการทดลองในเดือนกุมภาพันธ์ 2535 ทุกแปลงทดลองใช้แผนการทดลอง Randomized Complete Block Design มี 6 ตำรับทดลอง และ 6 ซ้ำ แต่ละตำรับมีพื้นที่ 5.25 × 6.0 ตารางเมตร ตำรับทดลองประกอบด้วยอัตราปุ๋ย 0, 4.8, 9.6, 19.2, 28.8 และ 38.4 กก.ไนโตรเจนต่อไร่ ในรูปแอมโมเนียมซัลเฟต ซึ่งแบ่งใส่ครึ่งหนึ่งตอนปลูกโดยหว่านแล้วคลุกให้เข้ากับดินด้วยแทรกเตอร์เล็ก และส่วนที่เหลือเมื่อข้าวโพดอายุ 1 เดือน โดยโรยเป็นแถบบนผิวดินห่างจากแถวข้าวโพด 8-12 เซนติเมตร ปุ๋ยรองพื้นประกอบด้วยปุ๋ยฟอสฟอรัสอัตรา 19.2 กก. available P_2O_5 ต่อไร่ ในรูปทริปเปิลซูเปอร์ฟอสเฟต ปุ๋ยโพแทสเซียมอัตรา 9.6 กก. K_2O ต่อไร่ในรูปโพแทสเซียมคลอไรด์และปุ๋ยสังกะสีอัตรา 6.4 กก. $ZnSO_4$ ต่อไร่ โดยหว่านแล้วคลุกเคล้าให้เข้ากับดินก่อนปลูก

ปลูกข้าวโพดบนสันร่องดินซึ่งห่างกัน 75 เซนติเมตร ระยะระหว่างหลุม 25 เซนติเมตร ปลูกหลุมละ 1 ต้น ทำการทดลองทั้งในฤดูฝนและฤดูแล้ง โดยการให้น้ำเมื่อมีปริมาณน้ำฝนไม่เพียงพอ ยกเว้นแปลงในไร่เกษตรกรซึ่งปลูกในฤดูฝนและไม่มีการให้น้ำ เก็บ

เกี่ยวข้าวโพดเมื่อข้าวโพดถึงระยะแก่ทางในทางสรีระ (physiological maturity) หรือหลังจากระยะดังกล่าว

การประเมินความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินและการวิเคราะห์ไนโตรเจนในพืช

วิธีเคมีที่ศึกษามี 9 วิธี คือ

(1) การวัดปริมาณของอินทรียวัตถุในดินโดยวิธี Walkley and Black's method (1934)

(2) การวัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดินโดยวิธี Kjeldahl method (Bremner,1965)

(3) การสกัดไนโตรเจนในดินด้วยโพแทสเซียมไดโครเมตในสภาพกรด (Sahrawat, 1983)

(4) การสกัดไนโตรเจนในดินด้วยด่างทับทิมในสภาพเบส (Sahrawat and Burford,1982)

(5) การสกัดไนโตรเจนในดินด้วยด่างทับทิมในสภาพกรด (Stanford and Smith, 1978)

(6) การสกัดไนโตรเจนในดินด้วยแคลเซียมคลอไรด์ร่วมกับโพแทสเซียมซัลเฟต (Fox and Piekielek, 1978)

(7) สกัดไนเตรทในดินตามวิธี Keeney and

Table 1 Experimental sites, soil series and soil properties.

Site no.	Location	Soil series	% OM	pH	Soil texture
1	LPRS	Lam Narai	2.06	5.2	Silty clay loam
2	NCSRC	Pak Chong	2.35	6.8	Clay loam
3	NCSRC	Pak Chong	2.18	5.8	Clay loam
4	FF	Takhli	2.81	7.5	Silty clay loam
5	LPRS	Lam Narai	1.24	5.0	Silty clay loam
6	LPRS	Lam Narai	1.07	4.5	Silty clay loam
7	NCSRC	Pak Chong	2.11	4.9	Clay loam
8	NCSRC	Pak Chong	2.62	4.8	Clay loam
9	NCSRC	Pak Chong	1.91	4.5	Clay loam
10	NCSRC	Pak Chong	1.51	4.6	Clay loam
11	LPRS	Lam Narai	1.57	5.2	Silty clay loam
12	NCSRC	Pak Chong	2.71	5.9	Clay loam
13	SBFCRC	Kamphaeng Saen	1.16	7.0	Clay loam
14	NSRCRC	Takhli	1.68	7.0	Silty clay loam
15	NSFCRC	Takhli	1.81	7.0	Silty clay loam
16	NSFCRC	Takhli	1.23	7.5	Silty clay loam
17	NCSRC	Korat	1.30	5.2	Sandy loam
18	NCSRC	Pak Chong	2.80	5.3	Clay loam
19	LRPS	Lam Narai	1.84	5.4	Silty clay loam
20	FF	Takhli	2.47	7.2	Silty clay loam

1 LPRS, Lamtakhong Plant Research Station, Pakchong, Nakhon Ratchasima Province; NCSRC, National Corn and Sorghum Research Center, Pakchong, Nakhon Ratchasima Province: NSFCRC, Nakhon Sawan Field Crops Research Center, Nakhon Sawan Province; SBFCRC, Suphan Buri Field Crops Research Center, Suphan Buri Province; FF, Farmer's field, Pak Chong, Nakhon Ratchasima Province.

Nelson (1982) และวัดโดยวิธีกลั่น

(8) สกัดไนเตรทในดินตามวิธี Iversen *et al.* (1985) และวัดโดย nitrate specific electrode

(9) การวัดปริมาณไนเตรทในส่วนเหนือดินของข้าวโพดเมื่อข้าวโพดอายุ 1 เดือน (Iversen *et at.*, 1985)

ตัวอย่างดินที่ใช้ในข้อ (1)-(8) เป็นตัวอย่างดินที่เก็บในระดับความลึก 15 เซนติเมตร โดยเก็บก่อนการปลูกและใส่ปุ๋ยมาผึ่งให้แห้งแล้วนำไปวิเคราะห์ ส่วนตัวอย่างต้นข้าวโพดที่ใช้ในข้อ (9) ใช้ต้นข้าวโพดที่สุ่มเก็บตำรับทดลองละ 5 ต้น แล้วนำไปอบแห้งก่อนบด วิเคราะห์ปริมาณไนโตรเจนในพืชโดยวิธี Kjeldahl digestion and distillation (Bremner,1965)

การคำนวณค่าสัมพัทธ์

ผลผลิตเมล็ดสัมพัทธ์ น้ำหนักแห้งสัมพัทธ์ และผลผลิตไนโตรเจนสัมพัทธ์คำนวณโดยถือว่าผลผลิตเมล็ดสูงสุด (maximum grain yield) น้ำหนักแห้งสูงสุด (maximum dry matter) และผลผลิตไนโตรเจนสูงสุด (maximum N yield) เป็นร้อยละ 100 และคำนวณค่าสูงสุดที่กล่าวเหล่านี้จากข้อมูลที่ได้จากตำรับทดลองต่าง ๆ โดยใช้ Second Degree Polynomial Regression (ทัศนีย์ และสมภพ, 2530) โดยสมการ

$$y = a + b_1x + b_2x_2$$

เมื่อ x = ตัวแปรอิสระ, y = ตัวแปรตาม, a = จุดที่เส้นกราฟตัดแกน y, b_1 และ b_2 = ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอย

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างดรรชนีความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินกับค่าสัมพัทธ์ที่ได้จากพืช

คำนวนความสัมพันธ์ระหว่างดรรชนี หรือค่าแสดงความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดิน กับผลผลิตเมล็ดสัมพัทธ์ น้ำหนักแห้งสัมพัทธ์และปริมาณไนโตรเจนสัมพัทธ์โดยใช้ Double Log Curvilinear Regression Model ดังนี้ คือ

$$\text{Log } y = a + b \log x$$

เมื่อ x = ค่าประเมินความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดิน, y = ผลผลิตเมล็ดสัมพัทธ์ หรือ น้ำหนักแห้งสัมพัทธ์หรือปริมาณไนโตรเจนสัมพัทธ์ แล้วแต่กรณี, a = ค่าที่เส้นกราฟตัดแกน y และ b = ความลาดชันของเส้นกราฟ

การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตเมล็ดกับดรรชนีความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนที่มีอยู่แล้วในดินและปริมาณไนโตรเจนจากปุ๋ย

สมการที่ใช้ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตเมล็ดกับค่าประเมินความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนที่มีอยู่แล้วในดินและปริมาณไนโตรเจนจากปุ๋ยได้แก่ Mitscherlich - Bray equation (Tisdale and Nelson, 1975) ดังนี้ คือ

$$\text{Log } (A-y) = \log A - c_1b - cx$$

เมื่อ A = ผลผลิตสูงสุด (กำหนดให้เป็นร้อยละ 100) y = ผลผลิตที่ได้ (คิดเป็นร้อยละของผลผลิตสูงสุด) c_1 = ค่าคงที่สำหรับประสิทธิภาพของไนโตรเจนที่มีแล้วในดิน c = ค่าคงที่สำหรับประสิทธิภาพของไนโตรเจนจากปุ๋ย b = ค่าประเมินความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนที่มีอยู่แล้วในดิน และ x = อัตราปุ๋ยไนโตรเจนเป็นกิโลกรัม N ต่อไร่

ผลและวิจารณ์

ความสัมพันธ์ระหว่างดรรชนีความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนกับค่าสัมพัทธ์จากพืช

วิธีเคมีที่ให้ดรรชนีความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจน ที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความความเชื่อมั่น 99 % กับผลผลิตเมล็ดสัมพัทธ์

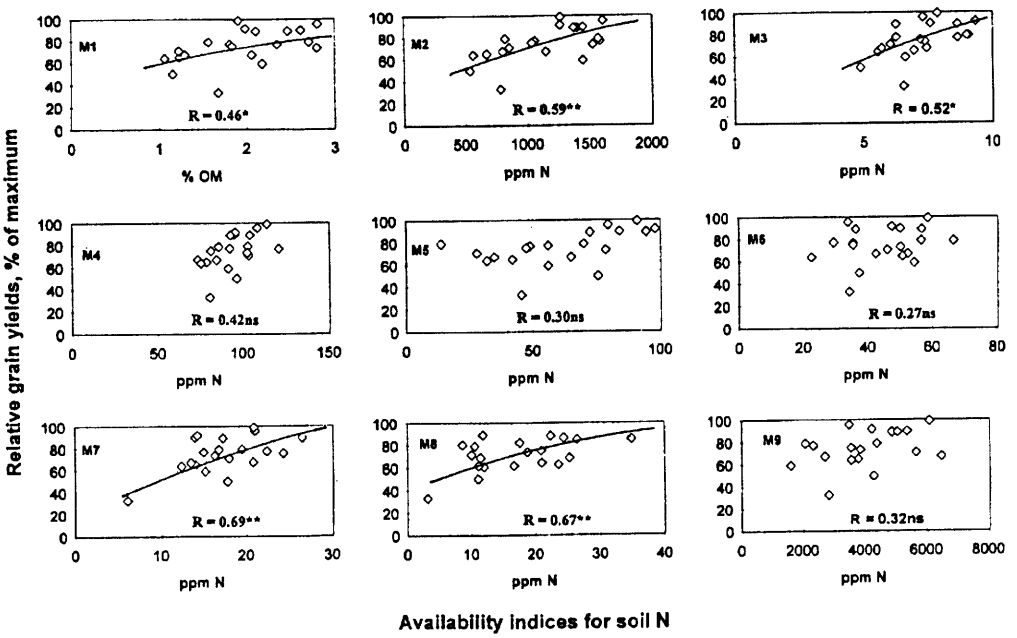


Figure 1 Relationships between relative grain yield of corn and the availability indices for nitrogen in soils by the nine chemical methods. M1-M9,Methods1-9,respectively;R,regression coefficient; ns, non-signiicant at the 5% level; *, significant at the 5% level; **, highly significant at the 1% level.

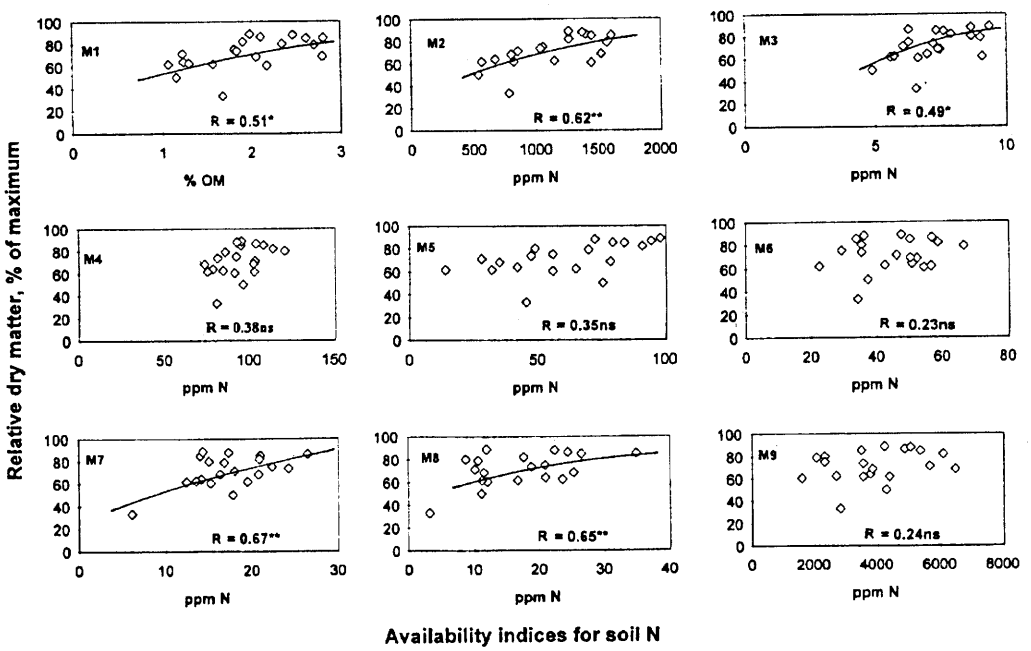


Figure 2 Relationships between relative dry matter of the above-ground parts of maize and the availability indices for nitrogen in soils by the nine chemical methods. See Fig. 1 for captions.

น้ำหนักแห้งสัมพัทธ์ของส่วนเหนือดิน และปริมาณไนโตรเจนสัมพัทธ์ของส่วนเหนือดินคือวิธีที่ 2,7 และ 8 (Figures 1-3) ส่วนวิธีที่ให้ความสัมพันธ์ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ในกรณีทั้งสามดังกล่าวได้แก่วิธีที่ 1 และ 3 ฉนั้น จึงสมควรที่จะกำหนดสมการเพื่อคำนวณความต้องการปุ๋ยในขั้นต่อไปจากการวิเคราะห์ดินโดยวิธีที่ 2, 7 และ 8 อย่างไรก็ตาม เนื่องจากวิธีที่ 1 เป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลายจึงเห็นสมควรรวมไว้

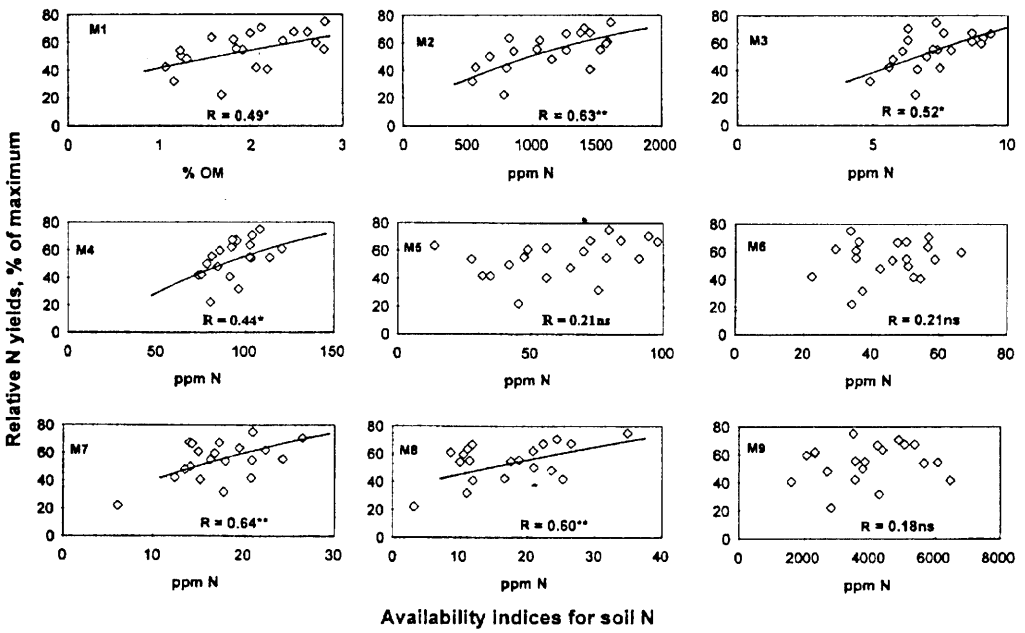


Figure 3 Correlation between relative nitrogen yields in the above-ground parts of maize and the availability indices for nitrogen in soils by the nine chemical methods. See Fig. 1 for captions.

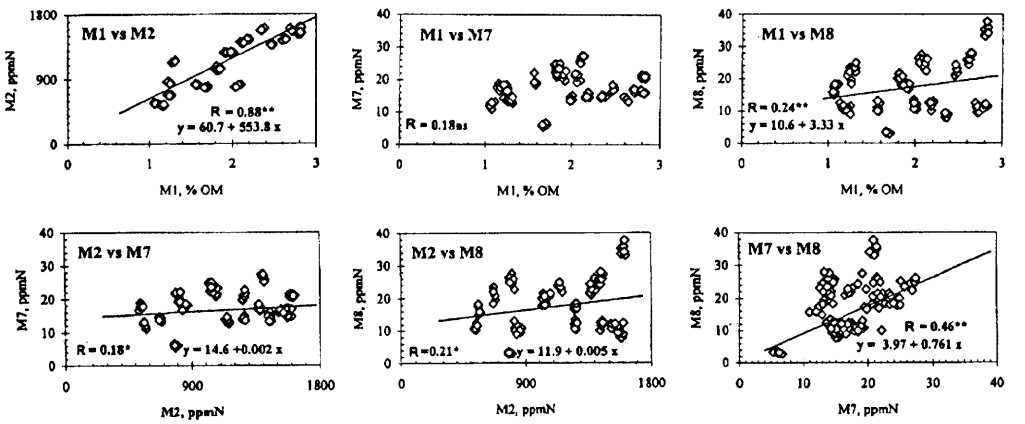


Figure 4 Correlation among indexes by Methods 1, 2, 7 and 8 (M1, M2, M3 and M4, respectively. See Fig. 1 for captions.

ในการกำหนดสมการด้วย

ผลการศึกษานี้สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Ryan *et al.* (1971), Singh and Brar (1973), Geist and Hazard (1975) ซึ่งพบว่า วิธีที่ 1, 2 และ 7 ให้ความแม่นยำสูงกว่าวิธีอื่น ๆ

ความสัมพันธ์ระหว่างดรรชนีจากวิธีต่าง ๆ

สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างดรรชนีความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินโดยวิธีต่าง ๆ แสดงใน Table 2 วิธีที่ 1 แสดงความสัมพันธ์สูงสุดกับดรรชนีจากวิธีที่ 2 แต่ทั้งวิธีที่ 1 และ 2 ให้ความสัมพันธ์ต่ำแม้ส่วนใหญ่จะมีนัยสำคัญทางสถิติกับวิธีที่ 7 และ 8 วิธีที่ 7 กับ 8 มีความสัมพันธ์กันที่ระดับความเชื่อมั่น 99 % ความสัมพันธ์ดังกล่าวแสดงเป็นกราฟ พร้อมกับสมการแสดงความสัมพันธ์ใน Figure 4

สมการคำนวณอัตราปุ๋ย

จากการนำผลผลิตสัมพัทธ์ของเมล็ดข้าวโพดที่ได้จากตำรับที่ไม่มีการใส่ปุ๋ยทั้ง 20 แปลงมาแทนค่าใน Mitscherlich-Bray Equation เพื่อหาค่า c_1 และเมื่อได้ค่า c_1 แล้วนำค่าเหล่านี้สำหรับแต่ละวิธีพร้อมกับผลผลิตสัมพัทธ์ของเมล็ดจากทั้ง 5 ตำรับทดลองไปแทนค่าในสมการอีกครั้งหนึ่งเพื่อคำนวณค่า c ในสมการทำให้ได้สมการดังแสดงใน Table 3

Table 2 Correlation coefficient matrix of availability indices for soil N by different methods[1]. (n=120)

Method	M_2	M_3	M_4	M_5	M_6	M_7	M_8	M_9
M_1	0.88**	0.58**	0.35**	0.50**	0.28**	0.18^{ns}	0.23*	-0.07^{ns}
M_2		0.50**	0.51**	0.60**	0.31**	0.19*	0.20*	-0.22*
M_3			0.28**	0.12^{ns}	0.40**	0.03^{ns}	-0.10^{ns}	0.07^{ns}
M_4				0.36**	0.16^{ns}	0.29**	-0.07^{ns}	0.13^{ns}
M_5					0.21*	0.18*	0.28**	0.09^{ns}
M_6						0.17^{ns}	-0.07^{ns}	0.23*
M_7							0.46**	0.29**
M_8								0.30**

1 M_1 to M_9 represent Method 1 to Method 9, respectively. ns, non-signiicant at the 5% level; *, significant at the 5% level; **, highly significant at the 1% level.

Table 3 Equations relating expected relative grain yields with the availability indices for soil N and the rates of fertilizer N required for different chemical methods.

Method no.	Equations[1]
1	$\log (100 - y) = 2 - 0.347\ b - 0.0377\ x$
2	$\log (100 - y) = 2 - 0.000593\ b - 0.0298\ x$
7	$\log (100 - y) = 2 - 0.0389\ b - 0.0326\ x$
8	$\log (100 - y) = 2 - 0.0432\ b - 0.0238\ x$

1 y = the obtained grain yield (% of maximum yield); b = availability index for soil N (as % organic matter contents of soils for Method 1 and ppm N for Methods 2, 7 and 8); x = rates of fertilizer N required (Kg N per rai)

ความแม่นยำของสมการคำนวนอัตราปุ๋ย

เมื่อนำสมการใน Table 3 มาคำนวณผลผลิตสัมพัทธ์ของเมล็ดข้าวโพดที่จะได้รับโดยอาศัยดรรชนีความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินที่ได้จากวิธีเคมีทั้งสี่วิธี ปุ๋ยไนโตรเจนอัตราต่าง ๆ ที่ทำการทดลองและผลผลิตต่อไร่สูงสุดที่คำนวณจากผลผลิตที่ได้จากตำรับทดลองต่าง ๆ แล้วนำผลผลิตที่คำนวณได้ไปหาความสัมพันธ์กับผลผลิตที่ได้จริงจากการทดลอง ปรากฏผลซึ่งแสดงใน Figures 5-8 จะเห็นได้ว่า วิธีทั้งสี่นี้ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (correlation coefficient, R) ใกล้เคียงกันมากและต่างก็ให้สหสัมพันธ์ที่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99

เมื่อพิจารณาจากกราฟ จะเห็นได้ว่า วิธีที่ 1, 2 และ 4 มีสมบัติคล้ายคลึงกันอย่างหนึ่ง คือ เมื่อข้าวโพดได้รับไนโตรเจนระดับปานกลาง(ระดับที่ให้ผลผลิตประมาณ 600 กก.ต่อไร่) ผลผลิตที่คำนวณได้จากสมการจะเท่ากับผลผลิตที่ได้จริง แต่เมื่อข้าวโพดได้รับไนโตรเจนระดับต่ำผลผลิตที่คำนวณได้จะต่ำกว่าผลผลิตที่ได้จริง ยิ่งข้าวโพดได้รับไนโตรเจนต่ำผลผลิตที่คำนวณได้ก็จะยิ่งต่ำกว่าผลผลิตที่ได้จริงมากขึ้น แต่ไม่เกิน 38.3, 63.4 และ 35.4 กก.ต่อไร่ และเมื่อข้าวโพดได้รับไนโตรเจนระดับสูงผลผลิตที่คำนวณได้จะสูงกว่าผลผลิตที่ได้จริง ยิ่งข้าวโพดได้รับไนโตรเจนสูงผลผลิตที่คำนวณได้ก็จะยิ่งสูงกว่าผลผลิตจริง โดยเมื่อผลผลิตที่คำนวณได้เป็น 1,200 กก.ต่อไร่ ผลผลิตที่คำนวณได้จะสูงกว่าผลผลิตจริง 38.3, 63.4 และ 35.4 กก.ต่อไร่สำหรับวิธีที่ 1, 2 และ 8 ตามลำดับ อย่างไรก็ตามวิธีที่ 7 มีสมบัติที่แตกต่างจากวิธีทั้งสาม

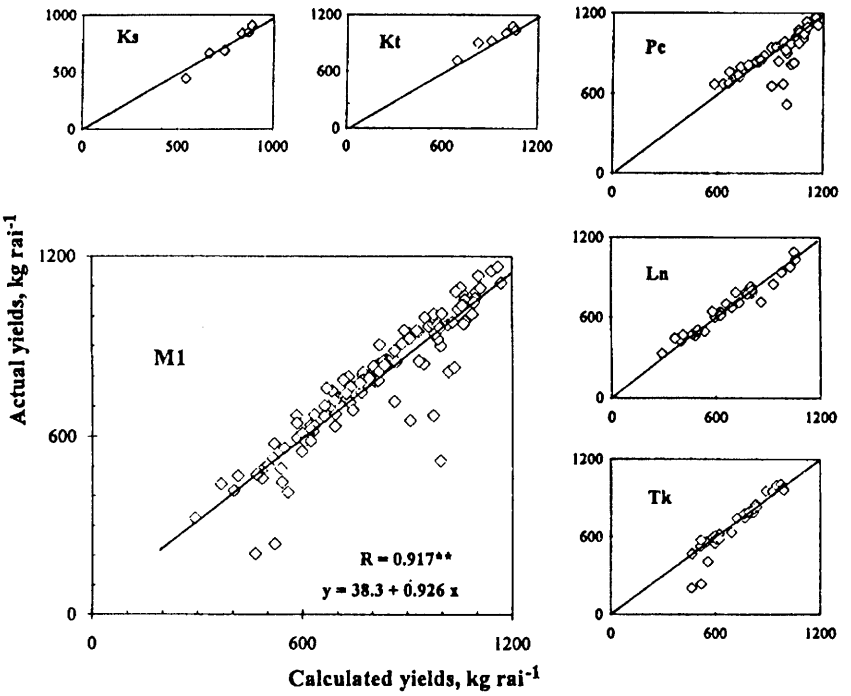


Figure 5 Correlation between the grain yields calculated by the equation for Method 1 and the actual grain yields. See Fig. 1 for captions.

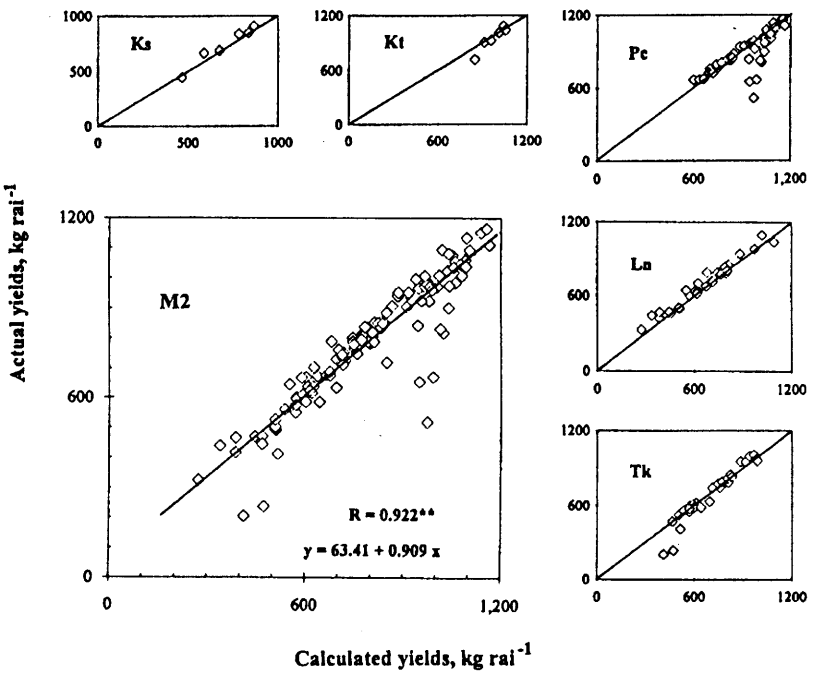


Figure 6 Correlation between the grain yields calculated by the equation for Method 2 and the actual grain yields. See Fig. 1 for captions.

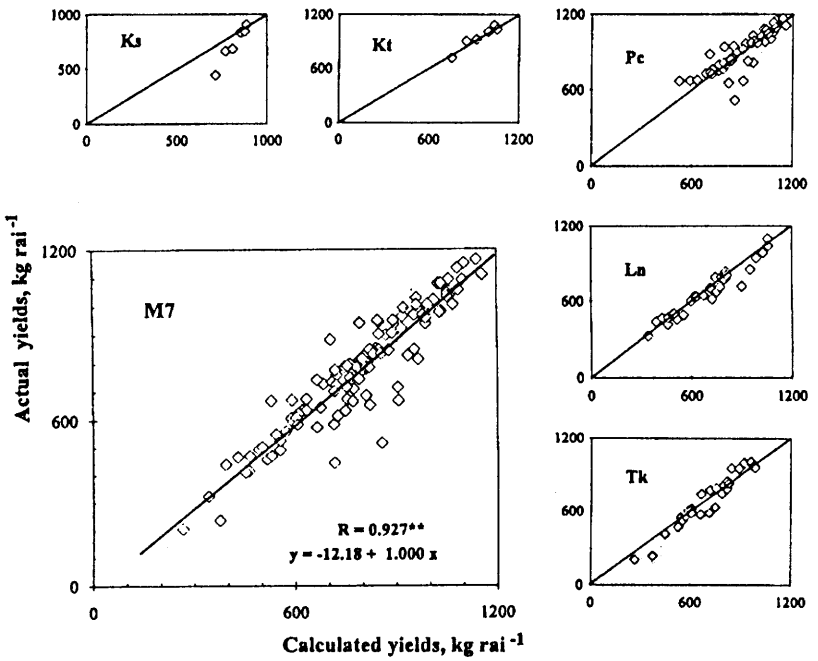


Figure 7 Correlation between the grain yields calculated by the equation for Method 7 and the actual grain yields. See Fig. 1 for captions.

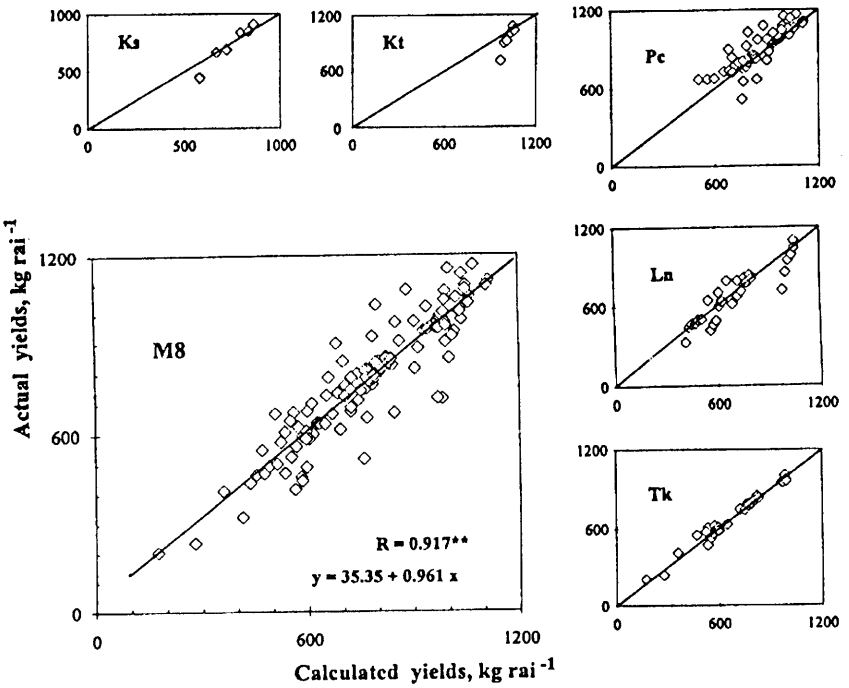


Figure 8 Correlation between the grain yields calculated by the equation for Method 8 and the actual grain yields. See Fig. 1 for captions.

ที่กล่าวข้างต้น กล่าวคือ ไม่ว่าข้าวโพดจะได้รับไนโตรเจนระดับต่ำ ระดับปานกลาง หรือระดับสูง ผลผลิตที่คำนวณได้จะต่ำกว่าผลผลิตจริงอยู่ 12.2 กก.ต่อไร่

หากพิจารณาผลของความแตกต่างในด้านสมบัติของดินแต่ละชุดดิน ที่มีต่อความแม่นยำของวิธีต่าง ๆ โดยอาศัยความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตที่คำนวณได้กับผลผลิตจริงสำหรับแต่ละชุดดิน (Figures 5-8) แต่ละวิธีที่ได้รับการคัดเลือกนี้ไม่ได้แสดงให้เห็นว่าให้ความแม่ยำกับชุดดินใดชุดหนึ่งมากกว่าชุดดินอื่นทั้ง ๆ ที่ดินมีสมบัติแตกต่างกันมากพอสมควร โดยเฉพาะอย่างยิ่ง pH ซึ่งผันแปรในช่วงกว้าง คือ 4.5-7.5 อาจจะกล่าวได้วิธีเหล่านี้ใช้ได้ดีพอ ๆ กันกับทุกชุด

เมื่อพิจารณาจากความแม่นยำในการคำนวณผลผลิตที่กล่าวข้างต้น ประกอบกับความยากง่ายในการวิเคราะห์ดิน ความสิ้นเปลืองเวลา ค่าใช้จ่าย และราคาของเครื่องมือที่จำเป็น วิธีที่ 1 เป็นวิธีที่น่าจะนำมาใช้ในการประกอบการให้คำแนะนำการใช้ปุ๋ยมากที่สุด สำหรับหน่วยงานที่มีเครื่องมือวิเคราะห์อิออน (ion analyzer) อยู่แล้ว วิธีที่ 8 จะเป็นวิธีที่น่าจะนำมาใช้มากที่สุด

สรุป

1. วิธีทางเคมีสำหรับประเมินความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินที่ให้ความแม่นยำสูงกว่าวิธีอื่น ๆ ที่นำมาศึกษา คือ (1) วิธีประเมินอินทรียวัตถุในดิน (2) วิธีวัดปริมาณไนโตรเจนทั้งหมดในดิน 3) วิธีวัดไนเตรทในดินโดยการสกัดแล้วกลั่นหาปริมาณไนเตรท และ 4) วิธีวัดปริมาณไนเตรตที่สกัดได้จากดินด้วย nitrate specific electrode โดยวิธีเหล่า

นี้ให้ความแม่นยำเท่าเทียมกัน

2. สมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลผลิตเมล็ดข้าวโพดกับดรรชนีความความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินและอัตราปุ๋ยไนโตรเจนสำหรับวิธีในข้อ 1. ให้ความแม่นยำเท่าเทียมกันในการพยากรณ์ผลผลิตจากผลวิเคราะห์ดินและอัตราปุ๋ยที่ใส่

3. เมื่อนำความยากง่าย ค่าใช้จ่าย เวลา และราคาของเครื่องมือที่จำเป็นมาประกอบการพิจารณาวิธีที่เหมาะสมสำหรับใช้ประเมินอัตราปุ๋ยไนโตรเจนที่จำเป็นต้องใส่เพื่อให้ได้ผลผลิตของข้าวโพดในระดับที่ต้องการคือ วิธีประเมินอินทรียวัตถุในดิน และวิธีวัดปริมาณไนเตรทที่สกัดได้จากดินด้วย nitrate specific electrode

คำขอบคุณ

คณะผู้ทำการวิจัยขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยข้าวโพดข้าวฟ่างแห่งชาติ สถานีวิจัยพืชลำตะคอง ศูนย์วิจัยพืชไร่นครสวรรค์ ศูนย์วิจัยพืชไร่สุพรรณบุรี และนายสร่าง แจ่มจำรัส ในความเอื้อเฟื้อสถานที่ทดลองและความช่วยเหลือในการดำเนินการทดลอง และขอขอบคุณนางจุไร ทองมาก และ นางนิตยา ตันมณี นักวิชาการฝ่ายนิเวศน์วิทยาของดิน กองวิเคราห์ดิน กรมพัฒนาที่ดิน ที่ให้ความอนุเคราะห์อนุญาตให้ใช้เครื่องมือวัดปริมาณไนเตรทโดย nitrate specific eletrode และให้ความช่วยเหลือในด้านการวิเคราะห์

เอกสารอ้างอิง

ทรงศักดิ์ ไชยโย. 2528. สหสัมพันธ์ระหว่างดัชนีความเป็นประโยชน์ของไนโตรเจนในดินโดยวิธีเคมีต่าง ๆ กับการเจริญเติบโต ผลผลิต ปริมาณการดูดใช้ไนโตรเจนและการตอบสนองต่อปุ๋ยไนโตรเจนของข้าวโพด. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ทัศนีย์ ชังเทศ และสมภพ ถาวรยิ่ง. 2530. การวิเคราะห์การถดถอยและสหสัมพันธ์. ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 378 น.

Bremner, J.M. 1965. Nitrogen availability indices. pp. 1324-1345. *In* C.A. Black (ed.-in-chief). Methods of Soil Analysis. Part 2, Agron. 9. Am. Soc. Agron. Inc., Madison, Wisconsin.

Fox, R.H. and W.P. Piekielek. 1978. Field testing of several availability indexes. Soil Sci. Soc. Am. J. 41 : 747-750.

Fox, R.H. and W.P. Piekielek. 1983. Response of corn to nitrogen fertilizer and the prediction of soil nitrogen availability with chemical test in Pennsylvania. Pa. Agric. Exp. Stn. Bull. 843 p.

Geist, J.M. and J.W. Hazard. 1975. Total nitrogen using a sodium hydroxide index and double sampling theory. Soil Sci. Soc. Am Proc. 39:340-343.

Iversen, K.V., R.H. Fox, and W.P. Piekielek. 1985. The relationships of nitrate concentrations in young corn stalks to soil nitrogen availability and grain yields. Agron. J. 77 : 927-932.

Keeney, D.R. and D.W. Nelson. 1982. Nitrogen-Inorganic forms, pp. 643- 698. *In* A.L. Page (ed.-in-chief). Methods of Soil Analysis, Part 2, 2nd ed., Agron. 9. Am. Soc. Agron., Madison, Wisconsin.

Metha, S.C. and D. Singh. 1971. Correlation studies of soil tests for available nitrogen with uptake by hybrid Jowar. J. Indian Soc. Soil Sci. 19:249-252.

Ryan, J.A., J.L. Sims, and D.E. Peaslee. 1971. Laboratory methods for estimating plant available nitrogen in soil. Agron. J. 63:48-51.

Sahrawat, K.L. 1983. Correlation between indices of soil nitrogen availability and nitrogen percent in plant, nitrogen uptake and dry matter yield of rice grown in the greenhouse. Plant and Soil 74 : 223-228.

Sahrawat, K.L. and J.R. Burford. 1982. Modification of the alkaline permanganate method for assessing the availability of soil nitrogen in upland soils. Soil Sci. 133 : 53-57.

Singh, R. and S. P. S. Brar. 1973. Correlation of different soil tests with maize response to nitrogen and phosphorus at different fertility levels of the soil. J. Indian Soc. Soil. Sci. 21:213-217.

Stanford, G. and S.J. Smith. 1978. Oxidative release of potentially mineralizable soil nitrogen by acid permanganate extraction. Soil Sci. 126 : 210-218.

Tisdale, S.L. and W.L. Nelson. 1975. Soil Fertility and Fertilizers. 3rd ed., Macmillan Publishing Co., Inc., New York. 694 p.

Walkley, A. and I.A. Black. 1934. An examination of the Degtjareff method for determining soil organic matter and proposed modifications of the chromic acid titration method. Soil Sci. 37:29-38.