

ประสิทธิภาพของ Acryhope ในการเพิ่มความทนแล้งของพืช Efficiency of Acryhope in Enhancing Drought Tolerance of Crops

กศนีย์ อัตตะนันน¹ ปิยะ ดวงพิตร¹ และ รวิชชัย ณ นคร²
Tasnee Attanandana, Piya Duangpatra and Tawachai Na Nagara

ABSTRACT

Acryhope, a commercial name of high water absorbing polymer was tested both in pot and field for its beneficial effect on drought tolerance of some crops. A Satuk series soil (Paleustults/Red-Yellow Podzolics), a Northeast sandy soil of Thailand which is low in organic matter and phosphours contents was used in the pot experiment. Acryhope was mixed with the soil at different rates and eucalyptus, neem, para rubber and cashew nut seedlings were grown. The results showed that plant available water and soil aeration were improved with Acryhope application. After stopped watering, plants could survive longer under the Acryhope application treatments. Analysis of soil after cropping revealed that extractable sodium content and pH of the soil increased when Acryhope was mixed with the soil. Field experiment was carried out with para rubber seedling at the Huoy Pong Field Crop Research Center, Rayong Province. Two rates of Acryhope, 50 and 100 g per tree and two methods of application, mixing Acryhope thoroughly with soil and placing Acryhope within the rhizosphere were investigated. The results showed that Acryhope treatments increased plant height and dry weight of young para rubber trees. Also, placing Acryhope within the rhizosphere tended to be better than mixing it thoroughly with the soil.

บทคัดย่อ

ได้ศึกษาถึงการใช้สารประกอบที่มีความสามารถในการอุ้มน้ำสูง ซึ่งมีชื่อทางการค้าว่า Acryhope ปรับปรุงดินทั้งในสภาพกระถางและภาคสนาม เพื่อทดสอบถึงประโยชน์ในการทำให้พืชทนแล้งได้นานขึ้น ดินที่ใช้ในการทดลองเป็นดินทราย ชุดสติก (Paleustults/Red-Yellow Podzolics) จากภาคตะวันออกเฉียงเหนือที่มีอินทรีย์วัตถุและฟอสฟอรัสต่ำ ได้ทำการทดลองในกระถางกับกล้าพืช 4 ชนิดคือ ยูคาลิปตัส สะเดา ยางพารา และมะม่วงหิมพานต์ โดยใช้ Acryhope ผสมกับดินในอัตราต่าง ๆ

ผลปรากฏว่า เมื่อมีการใส่ Acryhope ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืชของดินเพิ่มขึ้น การระบายอากาศของดินดีขึ้น และพืชสามารถอยู่รอดได้นานขึ้น และพบว่าดินที่มีการใส่ Acryhope มีปริมาณโซเดียมที่สกัดได้สูงขึ้น เช่นเดียวกันกับ pH ของดินเมื่อเทียบกับตำรับที่ไม่ใส่ ส่วนการศึกษภาคสนามกับยางพารา ที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ห้วยโป่ง จ.ระยอง โดยใส่ Acryhope ในอัตรา 50 และ 100 กรัมต่อต้น ใส่แบบคลุกเคล้ากับดิน และใส่ในบริเวณรากพืช ผลปรากฏว่า การใส่ Acryhope ทำให้ความสูงและน้ำหนักแห้งของยางพาราสูงขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับตำรับที่ไม่ได้ใส่ การใส่ในบริเวณรากพืชมีแนวโน้มให้ผลดีว่าการ

- 1 ภาควิชาปฐพีวิทยา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
Dep. of Soils, Faculty of Agriculture, Kasetsart University, Bangkok 10900, Thailand
- 2 กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร, จตุจักร, กรุงเทพฯ 10900
Soil Science Division, Dep. of Agriculture, Bangkok 10900, Thailand

ผสมคลุกเคล้ากับดิน

คำนำ

Acryhope เป็นชื่อที่ใช้ในเชิงการค้า สำหรับสารประกอบโมเลกุลใหญ่ที่อุ้มน้ำได้สูง สารประกอบนี้สามารถที่จะอุ้มน้ำได้หลายร้อยเท่าของน้ำหนักของมันเอง ซึ่งส่วนใหญ่ของน้ำที่ถูกดูดซับเอาไว้นี้ พืชสามารถนำมาใช้เป็นประโยชน์ได้ ดังนั้นหากคลุกสารประกอบนี้กับดินบริเวณรากพืชก็จะปรับปรุงการถ่ายเทอากาศและการระบายน้ำของดิน เมื่อสารประกอบนี้ดูดซับน้ำ จะขยายตัวออกทำให้เกิดช่องว่างในดิน เป็นการปรับปรุงการระบายน้ำของดิน และในขณะเดียวกันก็จะเก็บกักน้ำไว้ให้พืชใช้ประโยชน์ ซึ่งจะลดความถี่ของการให้น้ำแก่พืชได้ ดังนั้นประโยชน์ 2 ข้อนี้ก็น่าที่จะทำให้พืชเจริญเติบโตดีขึ้น สารประกอบประเภทนี้มีมากมายหลายชนิด แต่ชนิดที่นำมาศึกษาในครั้งนี้คือ สารประกอบของโซเดียมโพลิอะครีเลท (Sodium polyacrylate) หรือมีชื่อในทางการค้าว่า Acryhope ได้มีการทดลองใช้สารประกอบประเภทนี้ (TERRA-SORB) กับดินโคราชซึ่งมีเนื้อดินเป็นดินทราย พบว่า TERRA-SORB จะช่วยให้ดินอุ้มน้ำได้ดีขึ้นและทำให้ความตึงสัมพัทธ์ของพืชสูงขึ้น (ทักษิณ และคณะ, 2529) นอกจากนี้ยังพบว่าการใช้ polyvinyl alcohol และ polyvinyl acetate

กับดินที่มีเนื้อดินเป็นทราย ทำให้เปอร์เซ็นต์ aggregation สูงขึ้น (Carr and Greenland, 1975; Schamp *et. al.*, 1975)

วัตถุประสงค์ของการทดลอง

1. เพื่อทดสอบ Acryhope ในการใช้เป็นสารปรับปรุงดินเพื่อกักเก็บน้ำให้พืชใช้ประโยชน์ในดินทราย
2. เพื่อเป็นแนวทางในการลดระยะเวลาการให้น้ำแก่ไม้ดอก ไม้ประดับ เพื่อการค้า
3. เพื่อศึกษาถึงประโยชน์ของ Acryhope ที่จะทำให้อย่างพาราตังตัวได้เร็วขึ้นในภาคสนาม

อุปกรณ์และวิธีการ

การทดลองแบ่งออกเป็น 2 การทดลองคือ การทดลองในกระถาง และการทดลองภาคสนาม

1. การทดลองในกระถาง

ใช้ดินชุดสตีก (Paleustults/Red-Yellow Podzolics) จาก จ.ขอนแก่น ซึ่งเป็นดินทรายร่วน มี pH 5.7 มีระดับอินทรีย์วัตถุ และฟอสฟอรัสที่เป็นประโยชน์ต่ำ (Table 1) สมบัติของ Acryhope ได้แสดงไว้ใน Table 2

Table 1 Chemical properties of Satuk soil series before experiment and after second crop.

	Before experiment	After 2 nd crop Acryhope application (%)			
		0.0	0.25	0.50	6.00
pH	5.7	6.1	6.9	7.3	7.5
Texture	Loamy sand	-	-	-	-
O.M (%) ¹	0.5	1.3	1.2	1.0	1.2
Available P ² (ppm)	6	10	10	11	14
Extractable K ³ (ppm)	100	50	50	70	110
Extractable Ca ³ (ppm)	400	400	400	380	480
Extractable Mg ³ (ppm)	44	60	70	75	110
Extractable Na (ppm)	-	70	200	400	800

1 Walkley-Black method

2 Bray II extraction

3 NH₄ OAc pH 7.0 extraction

ดำรับการทดลอง

อัตราของ Acryhope : 0, 0.25, 0.50 และ 1.00% ของน้ำหนักดินแห้ง

ชนิดของพืช: ยูคาลิปตัส, สะเดา, ยางพารา และ มะม่วงหิมพานต์

แผนการทดลองเป็นแบบ Factorial design (4X4) และทำ 3 ซ้ำ

วิธีการทดลอง

นำกล้าพืชอายุประมาณ 3 เดือน 4 ชนิด มาปลูก ในดินที่ผสมกับ Acryhope ในอัตราต่างๆ ตามที่กำหนด (กระถางที่ใช้จุดินได้ประมาณ 15 กก.) วิธีการผสม Acryhope กับดินนั้นได้ชั่ง Acryhope ตามที่กำหนดแล้ว เติมน้ำจนอิมตัวจึงคลุกให้เข้ากับดิน หลังจากทำการปลูก พืชได้ประมาณ 2 เดือน หรือหลังจากพืชตั้งตัวได้ดีแล้ว ได้ทำการเติมน้ำทุกกระถางจนกระทั่งดินและ/หรือดินผสม Acryhope อิมตัวด้วยน้ำ และไม่มีการเติมน้ำอีกจนกระทั่ง พืชเหี่ยวและตายไป ในระหว่างการทดลองได้วัดการ เปลี่ยนแปลงความชื้นของดินและความเต่งของใบพืช ใน ระยะ 0, 7 และ 22 วัน หลังจากหยุดให้น้ำ (Days after stop watering, DASW)

2. การทดลองภาคสนาม

ได้ทำการทดลองที่ศูนย์วิจัยพืชไร่ห้วยโป่ง จ.ระยอง โดยใช้ยางพาราพันธุ์ RRIM 600

ดำรับการทดลอง

ใช้ Acryhope สองอัตราคือ 50 กรัม และ 100 กรัมต่อต้น

วิธีการใส่ มีสองวิธีคือ คลุกเคล้าให้เข้ากับดิน และใส่ในบริเวณรากพืช

แผนการทดลองเป็นแบบ randomized complete block design และทำ 4 ซ้ำ

การคลุกเคล้าให้เข้ากับดิน ได้นำ Acryhope คลุก

Table 2 Chemical analysis of Acryhope (total content).

Element	Concentration
Fe	184 ppm
Cu	36 ppm
Zn	0
Pb	0
Cd	0
P	992 ppm
Na	14.8 % by wt.

Table 3 Soil water content at 1/3 and 15 atm and plant available water in the soil with and without Acryhope application.

Acryhope application (%)	Volumetric soil water content (%)		PAW (%)
	1/3 atm	15 atm	
0.00	5.0	4.9	0.1
0.25	30.8	19.2	11.6
0.50	145.4	53.7	91.8
1.00	308.4	135.6	172.8

Table 4 Proportion of solid, liquid and gas in the soil with and without Acryhope application.

Acryhope application (%)	Three-phase distribution (%)			Bulk density (g/cm ³)
	Solid	Liquid	Gas	
0.00	50.3	0.4	49.3	1.33
0.25	39.5	0.3	60.2	1.05
0.50	24.5	0.2	75.3	0.65
1.00	22.3	0.8	76.9	0.60

Table 5 Soil water content (θ_w) and relative leaf turgidity (RLT) at different days after stop watering as affected by rates of Acryhope application.

Treatment	0 DASW		7 DASW		22 DASW	
	% θ_w	% RLT	% θ_w	% RLT	% θ_w	% RLT
U ₀	14.8	96.8	2.2	46.6	0.3	-
U ₁	29.2	93.0	5.8	83.7	1.1	25.5
U ₂	48.6	84.7	31.3	92.1	4.1	70.5
U ₃	86.5	82.7	76.7	85.5	57.9	84.6
N ₀	17.8	84.0	4.7	79.8	0.3	39.5
N ₁	35.1	75.7	15.0	84.1	1.0	42.3
N ₂	51.4	79.9	21.9	88.6	4.7	69.2
N ₃	97.2	79.5	68.7	84.6	16.3	76.6
C ₀	17.2	82.1	3.2	89.9	0.5	-
C ₁	32.3	89.7	13.4	87.9	1.8	72.9
C ₂	56.9	91.4	37.8	88.8	15.9	94.2
C ₃	101.4	93.6	77.9	93.8	61.7	91.4
P ₀	17.1	88.9	2.9	87.2	0.3	-
P ₁	30.8	86.5	17.7	93.6	3.2	44.3
P ₂	51.0	90.0	39.0	93.5	18.2	94.2
P ₃	87.6	88.2	64.4	92.2	38.7	95.8

Remarks U = Eucalyptus 0 = No application
 N = Neem 1 = 0.25% Acryhope application
 C = Cashew nut 2 = 0.50% Acryhope application
 P = Para rubber 3 = 1.00% Acryhope application
 DASW = Days after stop watering

Table 6 Number of days of plant survival after stop watering as affected by rates of Acryhope application.

Acryhope application (%)	Plant survival (DASW)			
	Eucalyptus	Neem	Cashew nut	Para rubber
0.00	4	11	11	11
0.25	11	16	21	23
0.50	23	28	44	44
1.00	36	49	80	93

DASW = Days after stop watering

Table 7 Volumetric soil water content at 1/3 and 15 atm and plant available water (crop 2) of soil as affected by rates of Acryhope application.

Acryhope application (%)	Volumetric soil water content (%)		PAW %
	1/3 atm	15 atm	
0.00	4.8	4.6	0.2
0.25	4.4	4.2	0.2
0.50	8.1	6.4	1.7
1.00	45.2	32.1	13.1

กับดิน ที่ขุดออกจากหลุมกว้างประมาณ 50 ซม. ลึก 50 ซม. อย่างสม่ำเสมอ และนำดินกลับคืนไปยังหลุมเมื่อปลูกลูกกล้ายางพาราแล้ว ส่วนการใส่ในบริเวณรากพืชนั้น ใส่ในความลึกครึ่งหนึ่งของความลึกของหลุมที่ขุด

วิธีการทดลอง

ทำการทดลองในช่วงระหว่างเดือน กุมภาพันธ์ ถึง พฤษภาคม พ.ศ. 2530 โดยใช้กล้ายางพาราที่มีอายุ 3 เดือน ปลูกลงแปลงทดลองขนาด 14 X 15 เมตร ใช้ระยะปลูก 8 X 3 เมตร หลังจากปลูกแล้วให้น้ำทุกๆ 5 วัน เป็นเวลา 7 สัปดาห์ หลังจากนั้นจึงหยุดให้น้ำและเริ่มบันทึกจำนวนวันที่พืชแสดงอาการเหี่ยวเฉาและแห้งตาย เพราะขาดน้ำ

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง คือที่ระยะหลังปลูก 126 วัน วัดความสูงของพืช และชั่งน้ำหนักแห้งของใบ กิ่งลำต้น และพืชทั้งต้น

ผลและวิจารณ์

ผลการทดลองในกระถาง

1. ปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช

ได้นำดินที่ผสม Acryhope ในอัตราต่างๆ ที่กำหนดไปหาปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช (Plant available water, PAW) ผลการทดลองปรากฏว่า การใส่ Acryhope จะทำให้ PAW เพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด (Table 3) นอกจากนั้น Acryhope ยังช่วยทำให้การระบายอากาศของดินดีขึ้น โดยจะเห็นได้จากสัดส่วนของอากาศที่เพิ่มขึ้น และ Bulk density ที่ลดลง (Table 4)

2. ความชื้นในดินและเปอร์เซ็นต์ความตึงสัมพัทธ์ของใบ

ได้ทำการวัดความชื้นในดิน และความตึงสัมพัทธ์ของใบที่ระยะ 0, 7 และ 22 DASE Table 5 แสดงให้เห็นว่าดำรับการทดลองที่มีการผสม Acryhope มีปริมาณความชื้นของดินสูงขึ้น การวัดความตึงสัมพัทธ์ของใบนั้นได้กระทำในใบอ่อน ซึ่งเห็นได้ชัดหลังจากหยุดการให้น้ำ 22 วัน ใบอ่อนของพืชในดำรับที่ผสม Acryhope นั้น ยังมีความตึงสูงอยู่ในขณะที่ พืชที่ปลูกในดำรับที่ไม่ผสม Acryhope เหี่ยวและตายในที่สุด

3. การอยู่รอดของพืช

ได้ทำการบันทึก การอยู่รอดของพืชต่างๆ ในดินที่มีการผสมและไม่ผสม Acryhope หลังจากงดการให้น้ำต้นยูคาลินดัสทนอยู่ได้ 4 วัน ในดำรับที่ไม่ได้ผสม Acryhope ส่วนสะเดา มะม่วงหิมพานต์ และยางพาราอยู่ได้ถึง 11 วัน แต่ในดำรับที่ผสม Acryhope พืชสามารถมีชีวิตอยู่ได้นานขึ้นตามอัตราของ Acryhope ที่เพิ่มขึ้น เช่น ยางพารา สามารถจะอยู่ได้นานถึง 93 วัน โดยไม่ต้องรดน้ำอีก (Table 6)

4. ความคงทนของ Acryhope

หลังจากสิ้นสุดการทดลองแรก คือพืชตายหมดแล้ว ได้เติมน้ำลงไปในดินเพื่อให้ดินอึดตัวด้วยน้ำอีกครั้งหนึ่ง และทำการปลูกพืชทั้ง 4 ชนิดอีกเช่นเดิม ผลปรากฏว่า PAW ของดินในการทดลองครั้งที่สองนี้ ลดลงอย่างเห็นได้ชัด (Table 7) แสดงว่า Acryhope สลายตัวไปในช่วงการปลูกพืชหรือไม่ก็เป็นเพราะความสามารถในการอุ้มน้ำของ Acryhope หมดไปหรือลดลงเมื่อปล่อยทิ้งไว้นาน

5. การเปลี่ยนแปลงสมบัติของดิน

หลังจากปลูกพืช ครั้งที่ 2 ไปแล้ว ได้วิเคราะห์ดินอีกครั้งหนึ่ง เพื่อที่จะศึกษาว่า Acryhope จะมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางเคมีของดินหรือไม่ ผลปรากฏว่า

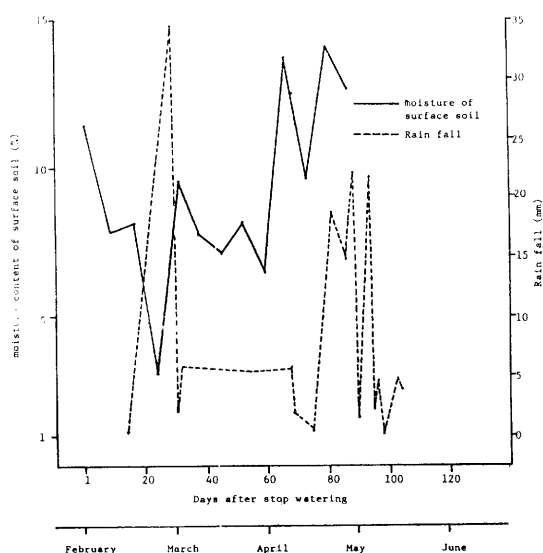


Figure 1 Rain Fall distribution and moisture at the surface soil of the control plot.

Table 8 Effect of rate and method of Acryhope application on growth of Para rubber tree after 126 days transplanting.

Acryhope application (g/tree)	Application method	Height (cm)	Growth and dry weight of Para rubber tree (g/tree)		
			Stem and branch	Leaf	Total (Stem + Branch + Leaf)
0	-	51.9	68.2	69.6	137.7
50	Mixing thoroughly with the soil	57.1	73.0	78.9	151.9
100		<u>54.8</u>	<u>70.0</u>	<u>72.9</u>	<u>142.6</u>
		Average ¹	71.5	75.9	147.2
50	Placing within the rhizosphere	59.2	81.5	81.6	163.0
100		<u>59.6</u>	<u>78.4</u>	<u>84.6</u>	<u>163.0</u>
		Average ¹	80.0	83.1	163.0

1 Average of Acryhope application treatment

ในดำรับที่ผสม Acryhope นั้นดินจะมีปริมาณโซเดียมที่สกัดได้สูงขึ้นตามอัตราของ Acryhope ที่ใช้ และดินมีค่า pH สูงขึ้น สัมพันธ์กับปริมาณโซเดียมที่เพิ่มขึ้น (Table 1)

ผลการทดลองในภาคสนาม

ผลการทดลองการใช้ Acryhope ในยางพาราปรากฏว่าไม่มีพืชเหี่ยวหรือตายไปเนื่องจากขาดน้ำ ทั้งนี้เพราะว่าในระหว่างช่วงเวลาที่งดการให้น้ำนั้น มีฝนตกลงมาในปริมาณมากพอสมควร (Figure 1) จึงทำให้ไม่เกิดช่วงแล้งที่ยาวนานพอที่จะทำให้ยางพาราแสดงอาการเหี่ยวหรือตายได้ แต่อย่างไรก็ตามดำรับการทดลองที่มีการใส่ Acryhope นั้น พบว่าพืชมีความสูงรวมทั้งน้ำหนักแห้งของต้นส่วนเหนือดินมากกว่าดำรับการทดลองที่ไม่ได้ใส่ และพบว่าการใส่ Acryhope ในบริเวณรากพืชให้ผลดีกว่าการใส่แบบผสมคลุกเคล้ากับดิน (Table 8)

สรุป

การใช้ Acryhope เป็นสารปรับปรุงดิน ทำให้การระบายถ่ายเทอากาศของดินดีขึ้นอย่างเห็นได้ชัด และยังทำให้ดินอุ้มน้ำไว้ได้มากขึ้น ซึ่งจะเห็นว่าพืชสามารถที่จะมีชีวิตอยู่ได้นานขึ้นโดยไม่ได้ให้น้ำ การทดลองในแปลงทดลองเกี่ยวกับระยะเวลาการทนแล้งของพืชได้ผลไม่ชัดเจน ทั้งนี้เนื่องจากไม่เกิดช่วงแล้งที่ยาวนานพอ แต่พบว่าการใช้ Acryhope มีศักยภาพที่ทำให้พืชเจริญเติบโตได้ดีกว่าการไม่ใส่ นอกจากนี้ยังพบว่าความสามารถในการอุ้มน้ำของ Acryhope ลดลงเมื่อปล่อยทิ้งไว้จนแห้ง การใส่ Acryhope ทำให้ดินบริเวณนั้นมี extractable Na สูงขึ้น เช่นเดียวกับ pH ของดินที่สูงขึ้น

ภาคผนวก

1. การหาปริมาณน้ำที่เป็นประโยชน์ต่อพืช ทำได้โดยการหาระดับความชื้นของดินที่ 1/3 บรรยากาศลบด้วยความชื้นของดินที่ 15 บรรยากาศ

2. การหาสัดส่วนของของแข็ง ของเหลว และอากาศ

ปริมาตรของดินหรือของแข็ง

=

น้ำหนักของดินอบแห้ง

ความหนาแน่นอนุภาคของดิน

$$\begin{aligned} \text{ปริมาตรของของเหลว} &= \text{น้ำหนักดินชื้น-น้ำหนักดินอบแห้ง} \\ \text{ปริมาตรของอากาศ} &= 100 - \text{ปริมาตรของของแข็ง-ปริมาตรของของเหลว} \end{aligned}$$

$$3. \text{ bulk density} = \frac{\text{น้ำหนักของดินอบแห้ง}}{\text{ปริมาตรของดิน}}$$

4. ปริมาณความชื้นในดิน ทำได้โดยการอบดินที่ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมงหรือจนได้น้ำหนักคงที่

5. ความเต่งสัมพัทธ์ของใบ (Relative turgidity) คำนวณได้จากสูตร

$$\% \text{ RT} = \frac{Fw - Dw}{Tw - Dw}$$

$$Fw = \text{น้ำหนักใบสด}$$

$$Dw = \text{น้ำหนักใบอบแห้ง (ที่ } 80^{\circ}\text{C, 3 ชั่วโมง)}$$

$$Tw = \text{น้ำหนักใบแช่น้ำ (แช่น้ำกลั่น 4 ชั่วโมง ซับน้ำด้านนอกจนแห้งแล้วชั่งน้ำหนัก)}$$

คำขอบคุณ

ผู้เขียนขอขอบคุณ Mr. K. Sakurai แห่ง Laboratory of Soil Science, Faculty of Agriculture, Kyoto University และ ดร.ประไพ ชัยโรจน์ กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร ที่ได้ช่วยวิเคราะห์ธาตุบางตัวใน Acryhope และอาจารย์เทพฤทธิ์ ตูลาพิทักษ์ ที่ได้เก็บตัวอย่างดินสติกมาใช้ในการทดลองนี้

เอกสารอ้างอิง

ทัศนีย์ อัดตะนันท์ วิสุทธิ์ วีรสาร และปิยะ ดวงพัตรา.
2529. TERRA-SORB กับการอุ้มน้ำของดิน และ

การอยู่รอดของพืชในสภาวะแห้งแล้ง วารสารดิน
และปุ๋ย 1 : 48-93.

Carr C.E. and D.J. Greenland. 1975. Potential application of polyvinyl acetate and polyvinyl alcohol in the structural improvement of sodic soils. In: Stewart, B.A. et al., (eds). Soil Conditioners. SSSA Spec. Publ. No. 7. SSSA Inc. Publisher, madison, Wisconsin, USA.

Schamp N., J. Huylebroeck and M. Sadones. 1975. Adhesion and adsorption Phenomena in soil conditioning. In Stewart, B.A. et al., (eds) Soil Conditioners. SSSA Publ. No. 7. SSSA Inc. Publisher, madison, Wisconsin, USA.