การจำลองความต้องการใช้น้ำชลประทาน สำหรับระบบการเกษตรที่หลากหลาย ของมลรัฐฮาวาย

มาโนช โพธาภรณ์, โทมัส เจียมเบลูกา และ แครอล เฟอร์กูสัน

๒๔ กันยายน ๒๕๔๘

๑. บทนำ: ปัญหา, คำถามวิจัย และนัยยะด้านนโยบาย

- ความต้องการใช้น้ำของพืชเป็นกระบวนการทางกายภาพ
- เมื่อผนวกกับแผนการผลิตจะกลายเป็นความต้องการใช้น้ำของเกษตรกรผู้ปลูกพืช
- ความต้องการใช้น้ำของเกษตรกรผู้ปลูกพืชตอบสนองต่อแรงจูงใจ (individual incentive), กฎระเบียบกติกาสังคม (social sanction) และข่าวสารความรู้ (information and cognitive behavior)
- เพิ่มประสิทธิภาพการใช้น้ำ (ผันน้ำเข้า-ออก ถาวร หรือ ชั่วคราว) โดยคำนึงถึงผลทางสังคม (การมีงานทำใหม่ของอดีตแรงงานภาคเกษตรที่ขายสิทธิ์การใช้น้ำไปแล้ว ฯลฯ) จะมีกระบวนการแก้ปัญหาอย่างไร?

การใช้น้ำของเกษตรกรผู้ปลูกพืช: สุรุ่ยสุร่าย (เพราะไม่ได้จ่ายค่าน้ำ) หรือจ่ายแล้ว (บางครั้งราคาแพง) จึงน่าเชื่อได้ว่าจะใช้ด้วยควาระมัดระวัง?

Richard Potts (2002) ว.ศ.มธ. 20(4):81 TDRI v RDI (Francois Molle)

- ข้อเสนอ (argument):
  - นอกจากประสิทธิภาพการใช้น้ำ (ณ. status quo level) อีกเรื่องที่สำคัญคือการตอบสนอง (response to econ incentive etc.)
  - water balance cost effective means ในการคำนวณการใช้น้ำของเกษตรกรผู้ปลูกพืช (พฤติกรรม, กายภาพ; วัดด้วยมิเตอร์)
- ข้อจำกัดเสนอ :
  - Partial answer ประสิทธิภาพ ระดับไร่นาและในระบบ (ก่อนถึงไร่นา) (Robert Wade)

๒. แบบจำลอง: (ก) พลวัตรน้ำ

- Thornwaite, C. W. (1948): หลักสะสารไม่สูญหายไป

$$P_t + IRR_t = ET_t + RO_t + RCHG_t + \Delta SMC_t$$

โดยที่ P_t =น้ำฝน, IRR_t =น้ำชลประทาน, ET_t =การคายระเหยของพืชและดิน, RO_t =การไหลบ่า, $RCHG_t$ = ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านชั้นดินไปสมทบแหล่งน้ำใต้ดิน, ΔSMC_t=การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินภายในช่วงเวลาที่กำหนด t =1 ตัวแปรทุกตัวจะวัดในรอบ1 วันหรือ 24 ชั่วโมง

- $AE = k\ (PE)$, โดยที่ AE = actual evapotranspiration, PE= potential evapotranspiration และ k = soil moisture depletion coefficient.

- $IRR_t = \begin{cases} I \cdot F & for \quad t = 1 + i \cdot F \quad i = 0,1,2,3... \\ 0 & otherwise \end{cases}$
- $RO_t = r[C(\sum_{l=1}^{5} P_{t-1} \ , Pt]$
- $SPE_t = S \cdot E_t$ โดยที่ Et =pan evaporation, S= pan coef for sugar.

  $PE_t = cf \cdot SPE_t$
- $AVWt = SMC_{t-1} + P_t + IRR_t - RO_t$ โดยที่ $AVWt$ =available water
- $AEt = f[PE_t, AVW_t, RCHG_t; RD, AWC]$
- $RCHG_t = g[AVW_t, AE_t; AWC]$
- $SMC_t = SMC_{t-1} + P_t + IRR_t - RO_t - RCHG_t - AE_t$

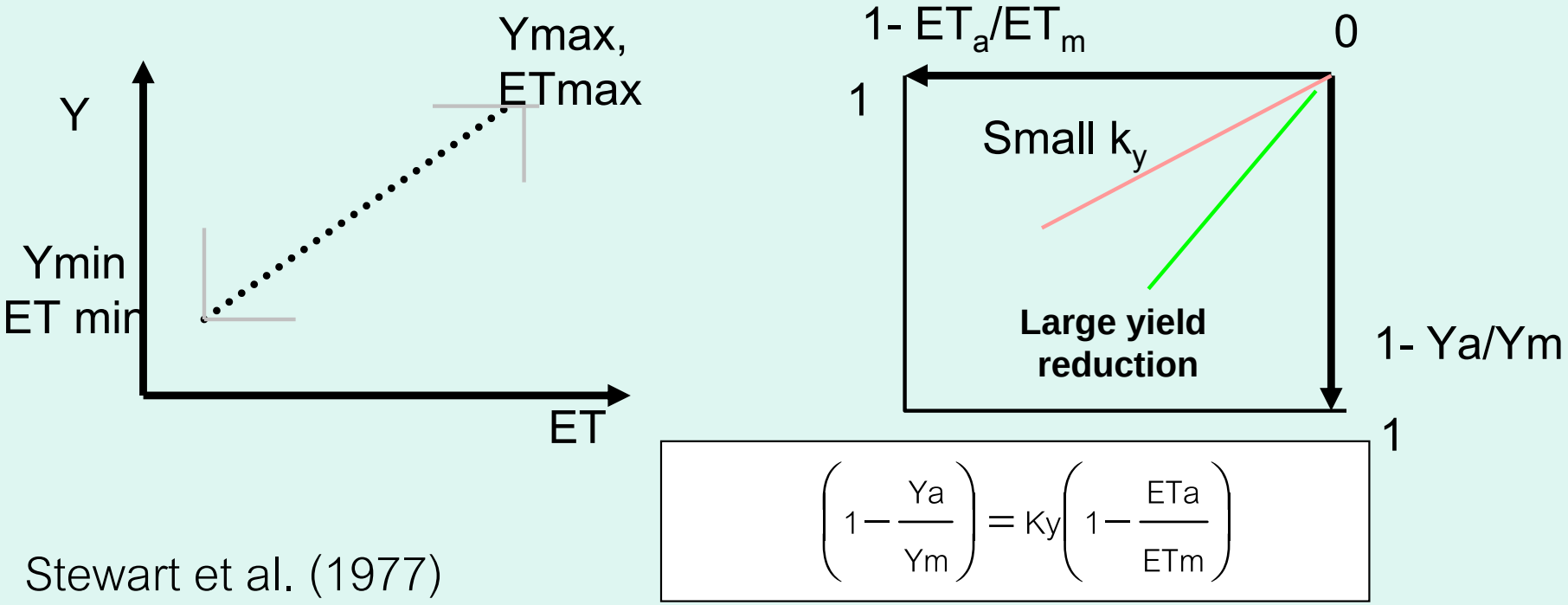
๒ (ข). ฟังก์ชั่นการตอบสนอง (Yield response to water)

- $D = m\,W$, Briggs and Shantz (1914) de Wit (1958)
- $D = m_2\left(\frac{D_{max}}{W_{max}}\right)W$

$$1-\frac{Y_a}{Y_m} = K_y\left(1-\frac{ET_a}{ET_m}\right)$$

- $Y_a = a + bET_a$ โดยที่ $a=Y_m(1-K_y)$ and $b=\frac{K_y Y_m}{ET_m}$
- ข้อสมมติ (maintained hypothesis) การนำไปใช้กับพืชสวน: (ก) ไม่มี supply shock, (ข) เทียบเคียง efficiency gain ใน dimension อื่น, (ค) ปรับฐาน: harvest index

Briggs and Shantz (1914) & de Wit (1958), D=mW; D= dry matter, W= water used, and m=water use efficiency of a crop



$$\left(1-\frac{Ya}{Ym}\right)=Ky\left(1-\frac{ETa}{ETm}\right)$$

Stewart et al. (1977)

Where Y_m= max yield, Y_a=actual yield, ET_m =max evap; ET_a =actual evap;

Adj higher threshold of Y_{min} for hort crops

๓. ค่าพารามิเตอร์ (พลวัตร์น้ำ)

- **ปริมาณน้ำฝน** Hourly Precipitation Report; มีทั้งหมด 12 ปีระหว่าง 1998-2000; 5ปีที่ข้อมูลหายกว่า 50เปอร์เซ็นต์จึงไม่ได้ใช้ ที่เหลือข้อมูล 7 ปีมี missing observations ใช้ซ่อมด้วยวิธีการทางสถิติ แล้ว validate กับ atlas
- **ปริมาณน้ำชลประทานที่ใช้** อัตราที่แนะนำโดยเจ้าหน้าที่ส่งเสริม; กำหนดให้พืชได้รับน้ำทุก 10% ของอัตราส่งเสริม (i.e. 10, 20, 30 … 80, 90%) โดย ให้งดน้ำเมื่อปริมาณฝนในวันก่อนหน้าเป็น 25% ของค่ารายวันตามอัตราที่ส่งเสริมแนะนำ และเทคโนโลยี่เป็นระบบน้ำหยด (subsurface irrigation) ;
- **การไหลบ่า** curve number ของ USDA ทดสอบ โดย Cooley and Lane (1980, 1982)
- **การคายระเหย (actual evapotranspiration) และ ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านชั้นดินไปสมทบแหล่งน้ำใต้ดิน** crop evaporative demand ซึ่งคำนวณจาก reference evaporation-Pan evaporation (เก็บข้อมูลดังกล่าวมาตั้งแต่ปี 1894) ใช้อ้อยเป็น reference crop

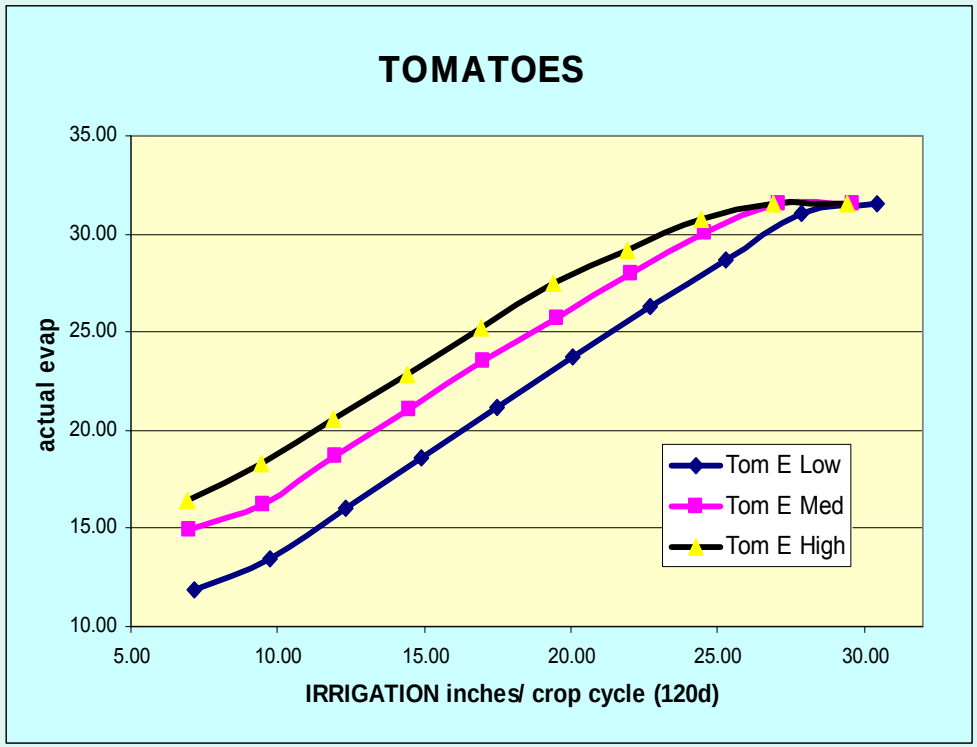
ค่าพารามิเตอร์: ฝน

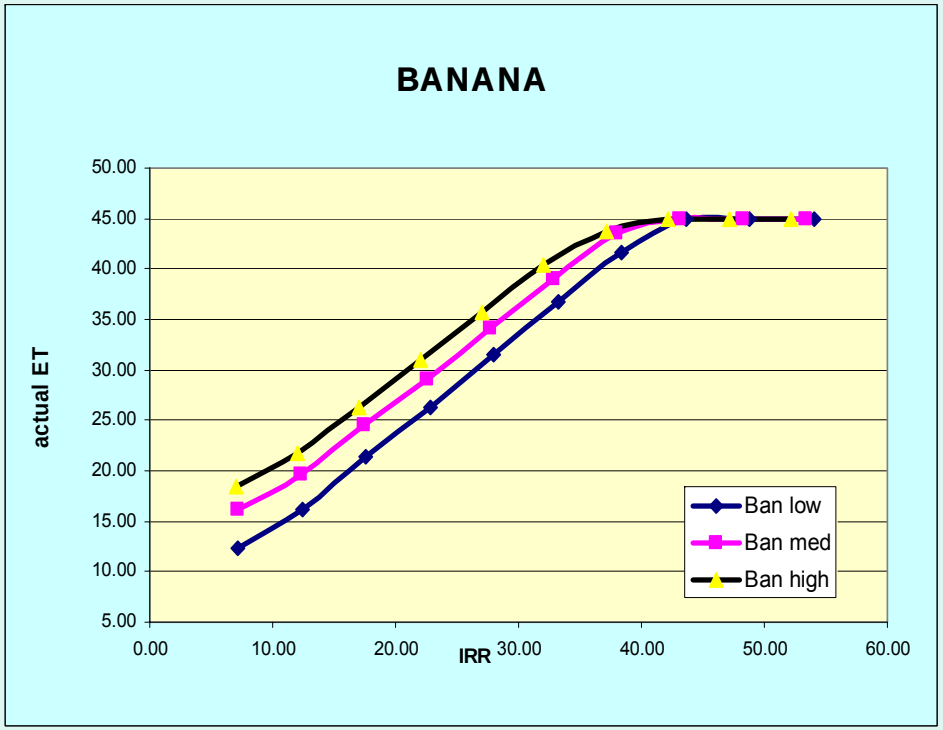
Rainfall @ camp34: Inches/ season

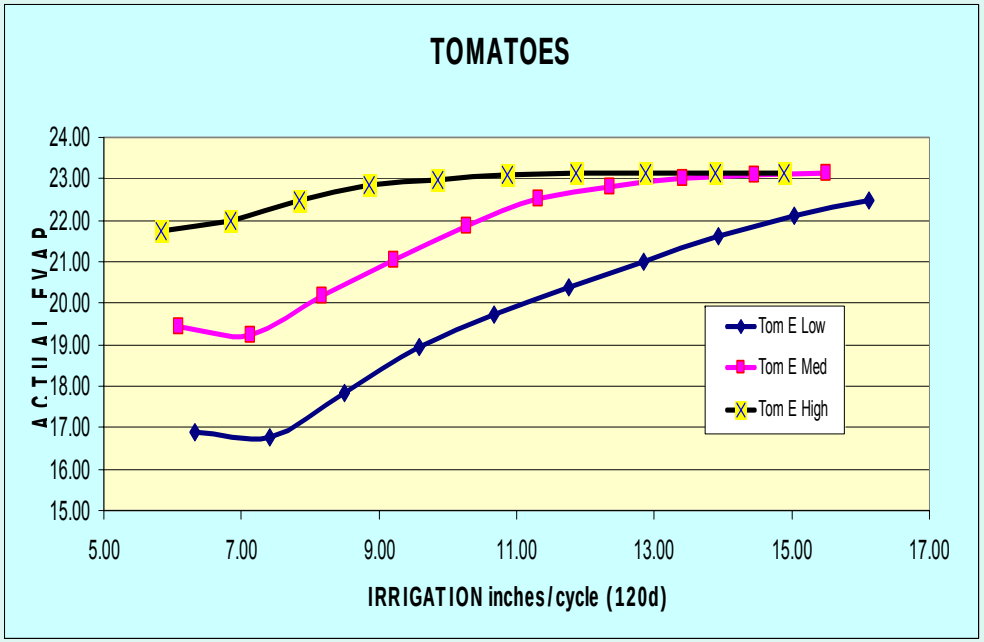
ฤดูร้อน	ฤดูฝน
พค-ตค	พย-เม.ย
3.90	9.39
4.23	15.78
8.30	18.50
8.50	20.31
8.70	20.95
11.16	23.47
18.10	29.31

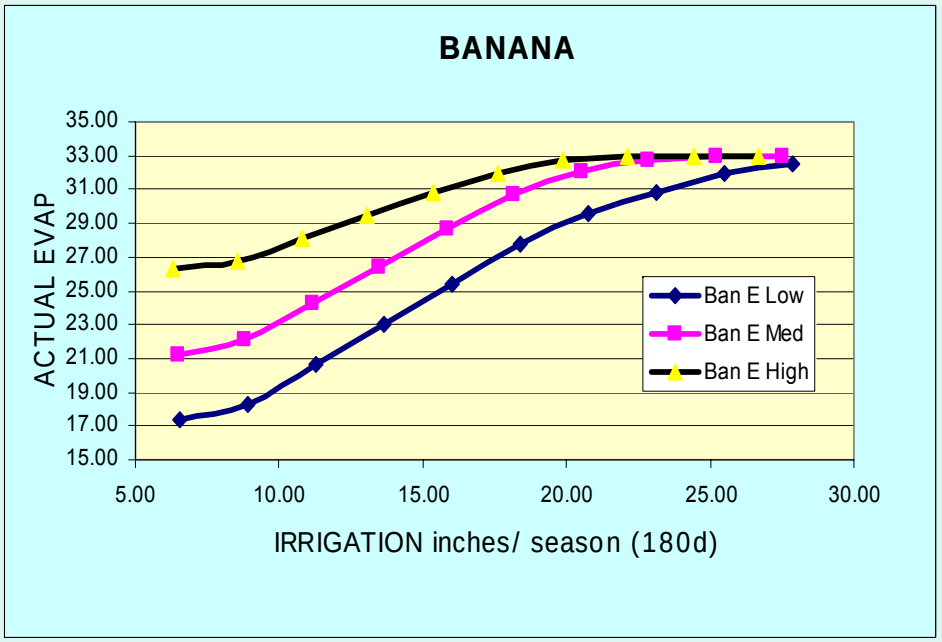
Source: State Met Office

พืช	USDA HI เทียบกับ Pan evap	Adj USDA HI เทียบกับอ้อย	RD+ นิ้ว moisture extraction depth	ระยะเวลาเพาะปลูก (crop cycle) วัน
พริกหยวก	0.6	0.7	2	150
กระหล่ำดอก	0.6	0.7	1.5	90
แตงกวา	0.6	0.7	2	120
ผักกาดหอม	0.55	0.64	1	50-60
หอมหัวใหญ่	0.5	0.58	1.5	120
มะเขือเทศ	0.6	0.7	3	120
แตงโม	0.55	0.64	3-4	120-150
กล้วย	0.85	1	3	>180
มะละกอ	0.6	0.7	4	>180
สับปะรด	0.3	0.35	1	>180


TOMATOES
actual evap
IRRIGATION inches/ crop cycle (120d)
Tom E Low
Tom E Med
Tom E High


BANANA
actual ET
IRR
Ban low
Ban med
Ban high


TOMATOES
ACTUAL EVAP
IRRIGATION inches/cycle (120d)
Tom E Low
Tom E Med
Tom E High


BANANA
ACTUAL EVAP
IRRIGATION inches/ season (180d)
Ban E Low
Ban E Med
Ban E High

ตัวแบบ

- $E_t = \alpha + \beta D + \gamma_1 R + \gamma_2 R^2 + \delta IRR + \rho\,(R*IRR) + \rho(D*IRR) + \varepsilon t$
- โดยที่ E_t = การคายระเหย, D= ตัวแปรดัมมี่ (0, 1) แสดงความสำคัญเมื่อฟังก์ชั่นเข้าใกล้ 1 นิ้วจากasymptote, R=ปริมาณน้ำฝน, IRR= ปริมาณน้ำชลประทานที่ใช้ และ ε_t=ค่า error
- R*IRR, D*IRR, R^2 ตัวแปร derivativeที่สร้างขึ้นเพื่อดัก nonlinearity
- Polynomial model with piecewise linear dummy variable; dummy capture rainfall curve shifting factor in ET-IRR function (ใช้แทน semi log functional form ซึ่งมี systematic prediction errorแม้มีผลใช้ได้ในเรื่อง goodness of fit & other test results)

ผลการประมาณการ: พืชฤดูร้อน ๑

พืช	N	Emax	X	จุดตัด	ดัมมี่	ฝน	ฝน^2	ชปท	ฝน**X**ชปท	ดัมมี่**X**ชปท	Adj R^2
แตงกวา	57	31.58	0.5	0.16	11.94	1.26	–0.0358	1.01	–0.0108	–0.4834	0.97
				(-0.15)	(-2.78)	(-8.44)	(-6.68)	(-22.60	(-2.03)	(-3.04)	
พริกหยวก	55	31.58	1	–0.65	10.55	1.38	–0.0378	1.04	–0.0118	–0.4409	0.98
				(-0.64)	(-2.97)	(-9.73)	(-7.74)	(-22.11)	(-2.47)	(-3.27)	
มะละกอ	52	31.58	1	–1.78	5.66	1.6	–0.0405	1.04	–0.0117	–0.2551	0.99
				(-3.01)	(-3.79)	(-18.04)	(-15.34)	(-36.28)	(-3.34)	(-4.37)	
แตงโม	47	29.04	0.5	–0.22	7.09	1.38	–0.0417	0.99	–0.007	–0.3392	0.98
				(-0.22)	(-2.36)	(-9.72)	(-8.59)	(-20.57)	(-1.27)	(-2.36)	

ผลการประมาณการ: พืชฤดูร้อน ๒

	N	Emax	X	จุดตัด	ดัมมี่	ฝน	ฝน^2	ชปท	ฝนXชปท	ดัมมี่Xชปท	Adj R^2
กล้วย	49	45.01	2	0	21.17	1.2	–0.0307	1.03	–0.0092	–0.5697	0.99
				(—0.00)	-4.57	-6.94	(—4.63)	-29.94	(—2.79)	(—4.99)	
กระหล่ำ	63	31.58	1.5	1.99	13.92	0.81	–0.0209	0.99	–0.0109	–0.5364	0.98
ดอก				-2.19	-3.7	-6.44	(—4.49)	-25.03	(—3.08)	(—3.98)	
หอมหัวใหญ่	62	26.5	1	2.85	15.4	0.69	–0.019	0.93	–0.01	–0.685	0.98
				-3.65	-5.36	-6.01	(—4.31)	-24.86	(—3.03)	(—5.99)	
มะเขือเทศ	68	31.58	1	0.31	15.9	1.15	–0.029	1.04	–0.015	–0.625	0.97
				-0.28	-3.44	-7.31	(—5.30)	-21.07	(—3.16)	(—3.70)	

ค่าพารามิเตอร์

พืช	Yield reduction ratio, ky	ที่มา
กล้วย	1.20-1.35	A
กระหล่ำดอก	0.95	A
หอมหัวใหญ่	1.10	A
พริกหยวก	1.10	A
มะเขือเทศ	1.05	A
แตงโม	1.10	A
แตงกวา	0.70	B
ผักกาดหอม	1.14	B
มะละกอ	0.40	B
สัปปะรด	0.37	B

NOTE: A=Doorenbos & Kassam (1979) FAO 33, B = estimate

EXPERIMENT RESULTS (ที่มาของพารามิเตอร์ที่คำนวณ)

Lettuce: k_y=ratio of **Δ** in cumulative ET (treatment per treatment) w r t fresh weight, Gallardo et al, 1996

Cucumber: k_y=ratio of reduction of smc & yield, mt/ha, Tan, et. al, 1983

Papaya: **Δ**fresh weight v irrig, Awada (1962)

Pineapple: **Δ** fresh weight v irrigation, Chapman et al 1983

สรุป: Yield response to irrigation

- Composite function

  $Y=f(AE(IRR))=f(IRR)$

- Necessrary adjustments
  - Continuity
  - Crop duration
  - Irrig efficiency
- Nursery crop water use
  - industry study: 1,175gad for orchids & 5,000gad for dracaena
- Seasonal variation in yield (orchids)

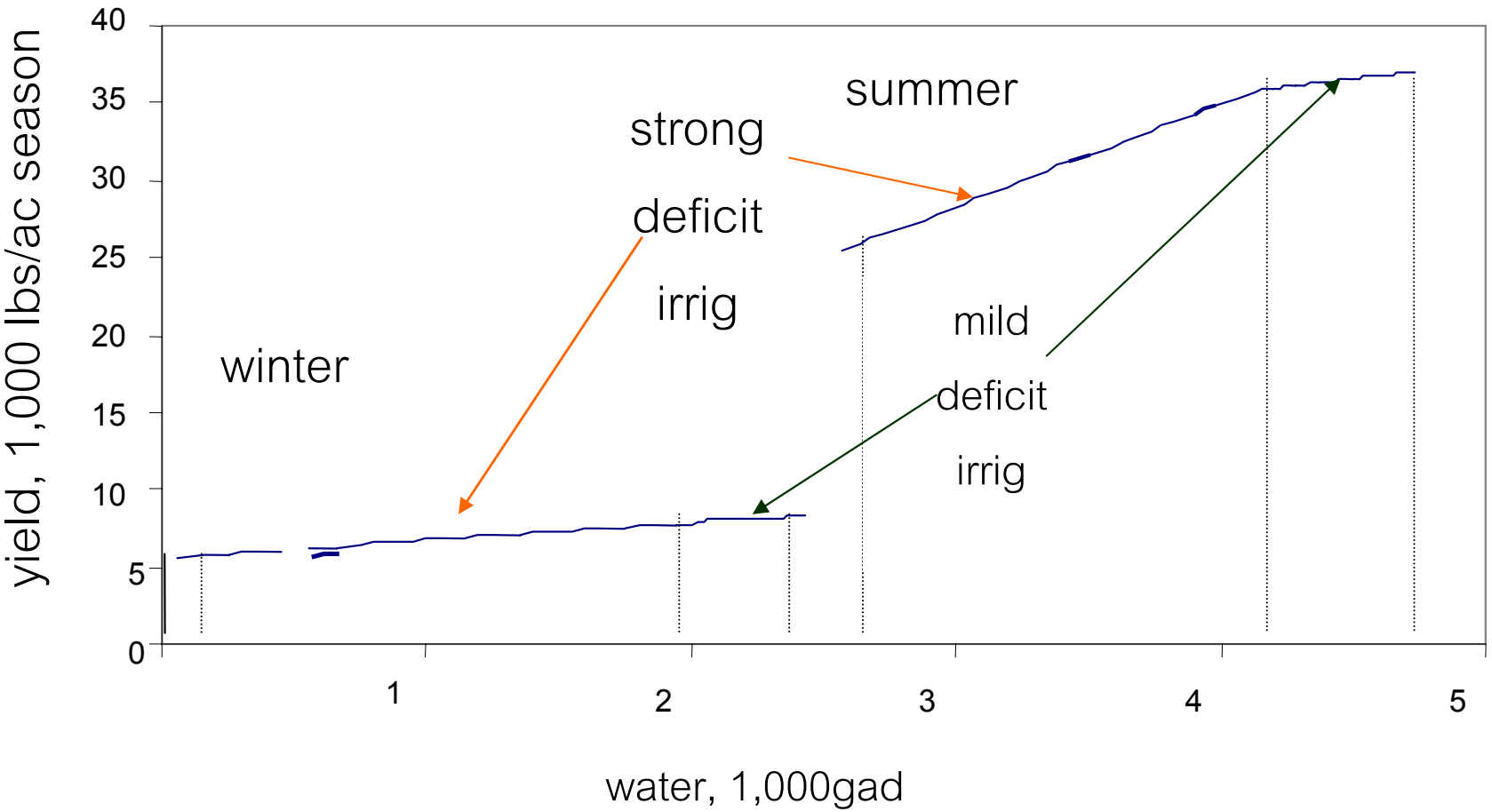


Figure 5 Tomatoes' Yield Response Function

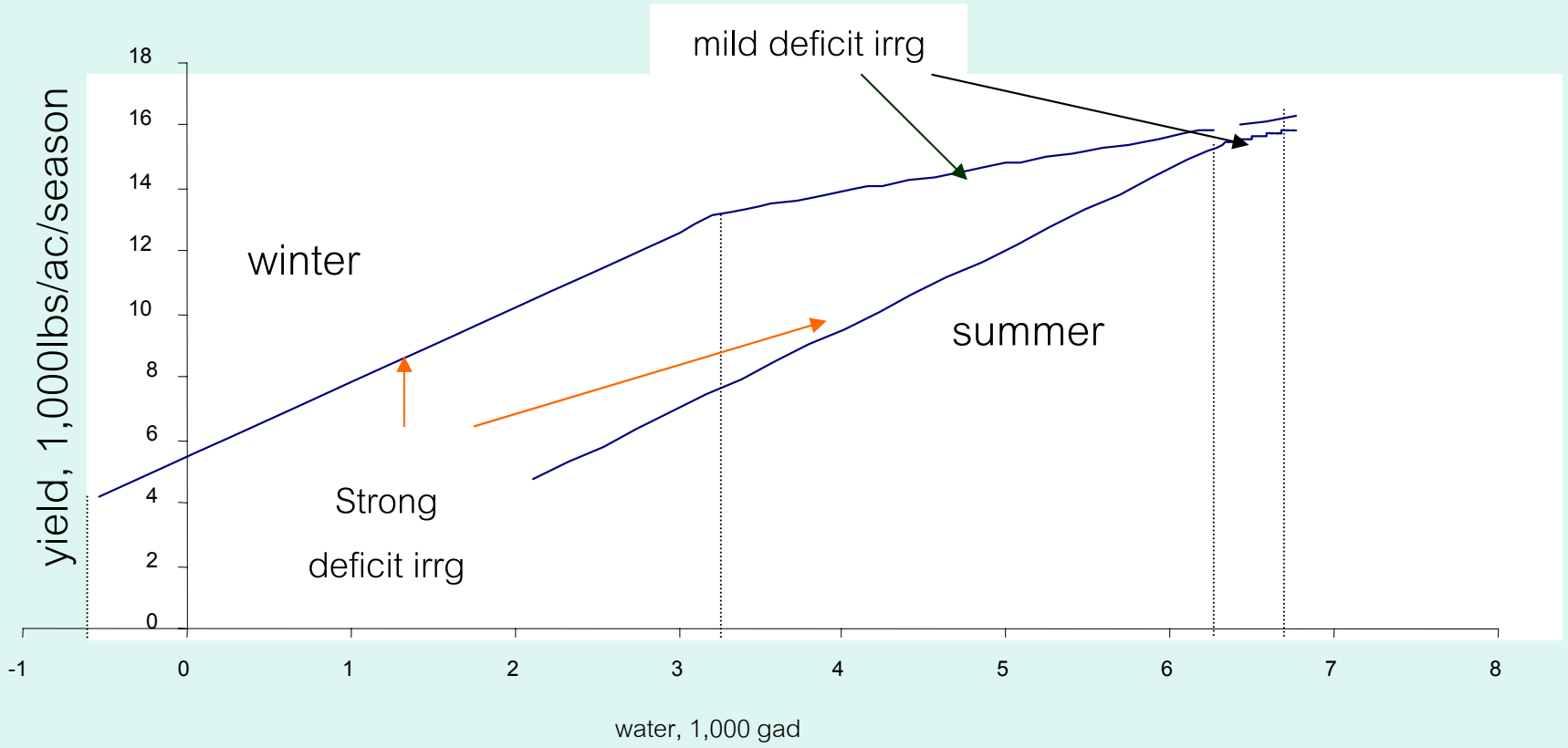


Figure 6 Banana's Yield Water Function

๔. บทสรุป

- คำตอบใหญ่ (Waiahole irrigation system, Hawaii- impact assessment efficient; endog irrigation water price ราคามีบทบาทน้อย; เมื่อเทียบกับ endog crop price)
- สมการที่คำนวณสามารถนำไปใช้ได้ for policy analysis (ให้คำตอบที่ไม่ผิดมาก)
- ปัญหาที่ไม่ได้คิดมาก่อน
  - ต้อง compromise เยอะ (เพราะไม่มีข้อมูล): ขนาดของฟาร์ม: เทคนิคการผลิต, ชลประทาน
  - ข้อมูลเบื้องต้น max potential yield; Seasonal effect on yield
- ข้อจำกัดอื่น e.g. Stage of crop growth
- ปัญหาน้ำที่ฮาวาย esp. physical & institutional setting (ละไว้ด้วยข้อจำกัดด้านเวลา)