

從灌溉立場看土地相對生產力

霍 雨 時

前 言

哈理士教授 (Prof. Karl Harris) 與漢生博士 (Dr. Vaughn E. Hansen) 於前年(1959)發表土地相對生產力一文 (Relative Productive Value of Land) 係專以灌溉立場，對土地利用價值作分析者，所提出之概念新穎獨特，可謂別具一格；對吾人研習上有足資借鑒者。漢生博士並計劃將該文要義編入 Dr. Isrealson 與彼合撰之 Irrigation Principles and Practices, third edition 書中。僅將該文要旨，簡介於諸學長之前；以享先睹為快之樂，而與研討之趣，是所竊幸者。

緒 言

本文立論專以農業土地為主，在灌溉立場作土地相對生產力之討論，蓋水，氣候及土壤為作物生產之要素，因此自上述三要素研究，是必然之理，茲分別列論之：

(壹) 水

甲、來源——水之來源，不外下列五類：(一)降水，(二)大氣水(有別於降水者)，(三)地下水，(四)洪水，(五)灌溉水。

(一)降水——有價值之降水須具下述之特性：

1. 其量足以提高根系土層之有效含水量。
2. 頻率均勻，作物不致受旱害。
3. 降雨強度須小，使土壤不易受沖刷。

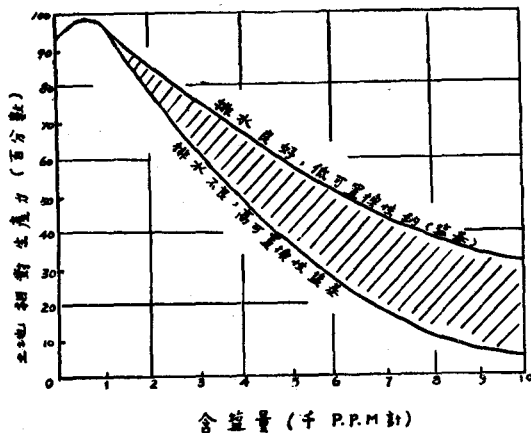
(二)大氣水——來源為凝露水，霧及雲，暨大氣濕度。此三者對作物需水量均有減低之效。

(三)地下水——地下水可藉毛管力上升，浸潤根系土層。最有效之地下水位，厥為緊隨主要根系所分佈之土層以下；換言之，地下水位之高度該使作物有最高之生產是尚。

(四)洪水——洪水與灌溉水，有相類之點；可資分辨者乃洪水係自然力所致者，非以人力為之。洪水暫時淹及農地，使足夠之水分，儲存土壤中以待作物生長之用，尼羅河之兩岸農業為顯著之例。

(五)灌溉水——係以人為方法補天然之不足，使作物生長用水，不虞缺乏，乾旱地區之農作，多利賴之。

乙、水質——水質之良劣，左右作物之產量如圖壹所示，含少量可溶性鹽類之水，有提高產量之效，惟含鹽量超過某定限之後，產量隨之激減。此點又與排水設施之完善與否有關；有效之排水，雖水質不佳，仍可藉過度灌溉之方法，隨灌隨洗鹼也。此外耐鹼作物及品種之選取亦為生產量增減之因素，綜言之，水質問題之解決，可藉經營管理為之。



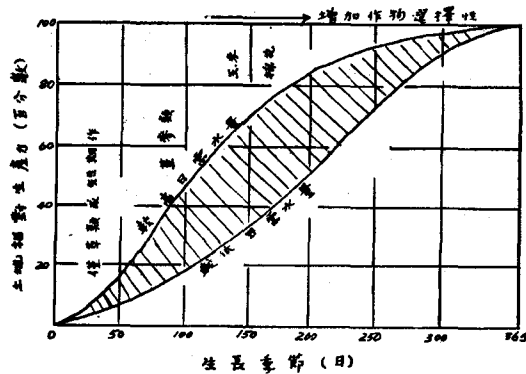
圖壹 水質(含鹽量)與相對生產力之關係

(貳) 氣 候

水與土壤須藉適宜之氣候，始能發揮其潛能，使作物豐育成熟。下列之氣候因素，決定土地生產力一、生長季節之長短，二、日照時數，三、溫度，四、相對濕度，五、風之移動。至目前為止，以上列五因素作為氣候影響土地生產力之研究，尚無滿意之答案；要之，唯生長季節之長短尚可作為可靠之因素。其他四因素在權衡輕重上困難尚在，如勉為之，則可用間接比較法，先以此等因素與作物需水量作比較，然後以作物需水量與土地相對生產力作比較。茲先述生長季節再論及其他諸因素於下：

(一)生長季節之長短——生長季節愈長，土地

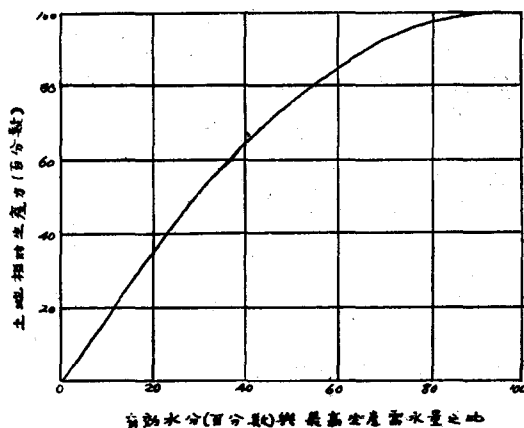
相對生產力自較高蓋可作多次之耕作。其關係見圖貳。



圖貳 生長季節與土地相對生產力之關係

(二)作物需水量——作物年需水量及生長各時期需水量之研究，可在上述四因素間，探求其關係。其量之決定須取可能之最大需求，以策灌溉設計之安全。

(三)水分之供應——在前述水之來源中之前四項均須作合理之估計，然後灌溉水之量為作物需水量與此估計量之差。水分適宜供應作物之程度，與土地相對生產力其關係如圖參。



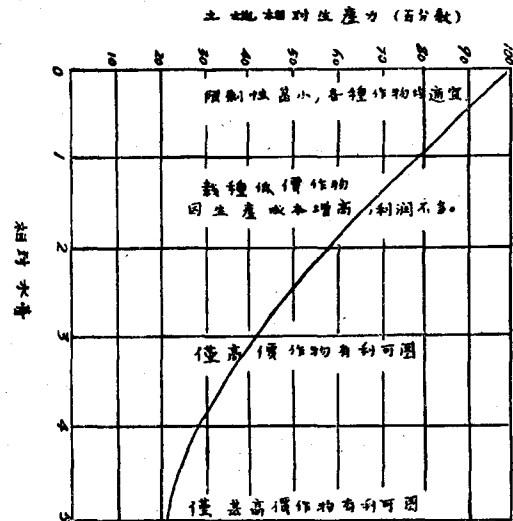
圖參 有效水分量與最高生產需水量之比，與相對生產力之關係

(四)汲取灌溉水所需之動力——動力之供應及費用為灌溉水之經濟分析要目，故值得考慮之。動力之來源分析須視下列兩因素；

1. 供應能力。
2. 汲取之高度——在其他條件不變之情形下，汲取高度為決定因素。質言之，水費之多少為生產

成本分析之要項。

水費與土地生產價值之關係如圖肆。



圖肆 相對水費與土地相對生產力之關係

(叁) 土 壤

下列六因素為主要考慮之點：

(一)粒構——粒構在土壤分類上，可粗分為砂土，壤土，黏壤土及黏土四種。所謂表土層及心土層則大致以耕耘深度作分界線。下列諸土壤特性在表土層均對粒構有影響，其中1, 2及5三項則對心土層有影響：1. 有效水分，2. 對水，空氣及根系之通透性，3. 滲入率，4. 耕耘，5. 養分貯存，6. 耕耘所需之動力，7. 抗冲刷性。

1. 有效水分：於每呎厚土壤中，黏土貯水能力常多倍於砂土，砂土之保水力有少至一吋以下者。黏土保水力恆在兩吋以上，壤土則在兩吋左右。有效水分之存貯力依粒構分類，則以黏壤土為最佳，蓋黏土對水之吸着力往往較大，故次之。再下者為壤土，砂土。

2. 對水，空氣及根系之通透性而言，則壤土為最佳，砂土，黏壤土，黏土等而次之。

3. 滲入率——適宜之滲入率有利於均勻分佈及貯存有效水分，一般而言；砂土滲入率過高，滲漏損失大，須用特殊方法施灌（噴洒灌溉法）方可避免。黏土則過低易致逕流損失。壤土之滲入率則接近理想，故以滲入率分類而言，則其優劣次序為壤土，黏土，砂土。

4. 耕耘：耕耘破壞土壤結構，妨碍土壤水分，

空氣及根系之通透性，一般而言，砂土受影響最少，壤土次之，黏土則最著。

5. 養分貯存：粒構愈小之土壤，其表面積愈大，故保持養分之能力愈大，故依序為黏土，黏壤土，壤土，及砂土。

6. 耕耘所需之動力：本項殊難一概而論，在農機具發達之地區，大面積之農場，其單位面積擔負之費用愈少。以切應力之分析，則以黏土之切應力為大，黏壤土，壤土，砂土等而次之。

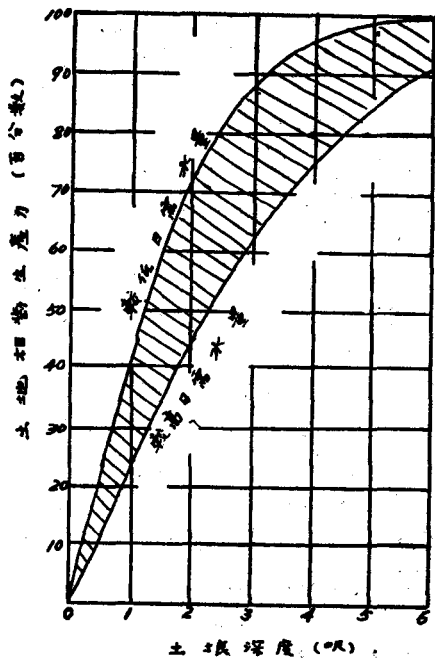
7. 抗冲刷性：此與田面坡度有關，蓋坡度愈大，冲刷力愈強。在作物種類而言，行栽作物抗冲刷能力較密植作物為弱。在降雨強度大之地區，冲刷力亦較大。一般而言，防冲刷能力以黏土為佳，黏壤土，壤土，砂土依序次之。見圖陸。

以粒構為土壤特性對土地相對生產力之分級估計見附表壹及附表貳。

(二) 結構——土壤結構在表土而言為易變者，故可從心土分類。較為妥善。

(三) 化學組成——化學成分無疑地影響土地生產力，此與風化程度，微生物作用，水質等互為影響。在灌溉立場而言土壤之含鹽率為主要研究對象。本文未對此項作分析。

(四) 土壤深度——土壤為作物根系滋生之所，



圖伍 土壤深度與土地相對生產力之關係

土壤深厚根系發育完美，反之則因局限一隅，窒礙自大。土壤深與土地相對生產力之關係見圖伍。

(五) 排水情形——相鄰兩地，雖則坡度與地形均相若，但其土地相對生產力亦因排水之設施而分高下。低窪地在未有灌溉前，可能其天然排水足夠防止地下水位上升，但一俟灌溉實施，灌溉損失水量，大大增加所具之排水負荷，從而產生排水不良，地下水位上升。引致鹽鹼地，沼地之產生，土地相對生產力，自趨下降。

表壹 相對土壤粒構特性與相對土地生產力估計分析表

粒構特性加權分析	主要粒構			
	壤土	黏壤土	黏土	砂土
甲、表土				
1. 有效水分	1	0	3	10
2. 對水，空氣及根系之通透性	0	4	10	2
3. 滲入率	0	3	8	10
4. 耕耘	3	5	10	2
5. 養分貯存	3	2	1	10
6. 耕耘所需之動力	2	4	7	0
7. 抗冲刷性	5	3	2	7
合計	14	21	41	41
平均值	2	3	6	6
估定值 = (100 - 2 × 平均值)%	96	94	88	88

乙、心土

1. 有效水分	1	0	3	10
2. 對水，空氣及根系之通透性	0	4	10	2
3. 養分貯存	3	2	1	10
合計	4	6	14	22
平均值	1.3	2	4.7	7.3
估定值 = (100 - 2 × 平均值)	97	96	91	85

表貳 相對生產力就粒構分類之估計分析表

		表土			
		壤土	黏壤土	黏土	砂土
		96	94	88	88
心土	壤土	96	93	91	85
	黏壤土	94	92	90	84
	黏土	88	87	86	80
	砂土	88	82	80	75

減生產力

(肆) 土地相對生產力計算實例

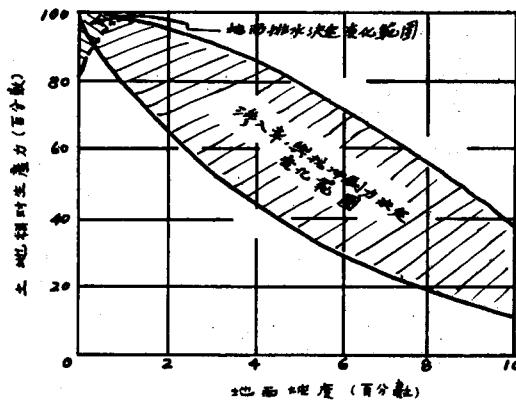
土地相對生產力之大小直接與最弱之因素相聯繫。例如縱有優良之土壤及水源；苟氣候過劣，亦無法成爲一良好之農地。易言之，良好之農地，其所以然者爲水，氣候及土壤三主要因素均佳所致，缺一不可。

例如有一農地，表土及心土均爲黏土，則在表一可查得

在粒構分析下土地相對生產力爲 $.88(.91) = 80\%$
 又生長季節之分析爲 $0.70 = 70\%$
 且排水分析(坡度等) $0.91 = 91\%$

則在水源，水質，土壤深度及有效水分之維持均爲百分之百良好時，其土地相對生產力 $= 0.8 \times 0.7 \times 0.91 = 0.51 = 51\%$

在此可見嚴重影響土地相對生產力之因素爲生長季節，苟能在土壤管理上及排水設施上加以改進使接近百分之百之程度，最大可能之土地相對生產力，亦僅接近70%而已。生長季節之長短係無法以廉宜人工方法所改變者。易言之，一年四季均可生長作物之地其相對生產力依圖式平均約爲每年生長季節爲一百五十天者之倍。



圖陸 地面坡度與土地相對生產力之關係

後 語

上文大致均循原作者之意作撰譯，增減不免有之；蓋其目的在澄清全文，以扼要提綱俾助瞭解。作者未在其著論內闡明圖壹至圖陸之構作方法，筆者不揣學養之不足，謹將管見就正各位學長，如蒙賜示高見至感至感。

圖壹 其曲線之形式大部爲二次方程式(除在高百分比之一小段外)此二次方程式可視作方形

雙曲線之一枝，或拋物線之一部，其遞減率始則大後則緩；此圖之根據或從 D. W. Thorne 及 Peterson 所著之 Irrigated Soils 中第 112 頁表 13 中所示各值引申而得。

圖貳 曲線爲三次方程式，因作物需水量在全部生長季節中各期之變化乃由小漸增大再漸趨小——變化近似氣溫之季節變化——故爲二次方程式拋物線之變化。以二次方程式積分之，可得如圖貳之曲線。作物需水量與生長季節之關係可參閱 Isrealson Irrigation Principles & Practices 第 292 頁及 346 頁。

圖叁 曲線爲二次方程式，此可比較 Irrigation Principles and Practices 一書中第 327 頁及 331 頁。

圖肆 其方程式爲二次式，其式之構成可假設生產量爲 1 不變，同時(未加入水費時)生產成本爲 1。則相對水費自 0 增至 4 時，如設 Y 軸代表土地相對生產力及 X 軸代表生產成本則可有：

Y	1	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{3}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{5}$
X	1	2	3	4	5

可見 Y 及 X 兩者之關係如圖叁之曲線所示。

圖伍 假定土壤深度足夠使根系充份發展譬如六呎土深爲理想，假定土壤含水量均勻，則此六呎深土壤之水份量足夠作物所需。若條件不變，則一呎之土壤深度所提供之水份，顯然不足。以上述想像，知圖伍之曲線該與圖叁之形式一致。

圖陸 穩定結構之土壤在坡度較緩處冲刷幾不發生，自後則隨坡度增大而加速增加。故曲線如圖。不穩定結構之坡度，雖坡度緩之處，冲刷即發生，自後急劇隨坡度之增大而更冲刷嚴重。因之土地相對生產力隨之激減。在坡度達 8% 以後已逐漸接近零。故得曲線如圖。

本文所提之概念，誠如作者所指待修正及實驗之處至多，蓋此等概念並不限一隅一地。惟各地有不同之環境其間變化至大。吾人從事工程研究，對理論之適地適時之觀念早已確立。故在引用上應隨時注意適用之程度。予以增減，副之以實測，庶幾可稱接近正確之估量也。工程設施在提高效率，增加收益；本文之觀點亦在於是，利用研究實驗所得；歸納之，引申之；使成立一尺度，足以指示吾人因地制宜之機，俾投資不致落空，國計民生得以保障也。