

國立台灣大學農藝系大學部

## 專題討論

# 農民參與育種的策略與理論

主講學生：康 樂

指導教授：郭華仁教授、王裕文助理教授

報告時間：98 年 3 月 12 日 上午 10 時 50 分

報告地點：農藝系館 112 室

### 摘要

參與式育種(Participatory plant breeding, PPB)透過農民的參與，運用在地知識，並且直接在農民的農田進行試驗，選拔適合農田環境的品系，有效產生較多的品種，使農田的生物多樣性增加。

本文第一部分主要討論參與式育種的育種理論基礎，因為在育種過程能夠直接加以選拔，以及直接影響實際生產是作物的外表型，而影響外表型的主要因子包括基因、環境、和基因與環境的交感效應，因此參與式育種分別就各項因子來增進外表型，並直接在農民的農田內進行適應然後加以選拔增加選拔的效率，參與式育種因而可以有效的達到其各項育種目標。

第二部份討論參與式育種模式，參與式育種在不同環境下著重不同的目標策略，同時進行選拔與試驗縮短育種流程、透過有效的試驗設計，估計各項育種指標。在台灣，分區育種在育種選拔增進的概念類似於參與式育種，但成效仍值得討論。

**關鍵字：**參與式育種(Participatory plant breeding, PPB)、分散化的參與式育種(Decentralized- participatory plant breeding)、在地知識(Indigenous technical knowledge, ITK)、直接選種(Direct selection)、基因與環境的交感作用(Genotype × environment interaction)、生物多樣性(Biodiversity)。

## 前言

我國改良場所每年投入大量人力物力，育出相當多的新的品種，但在實際生產的農田中，真正栽培的品種卻遠低於新選育出的品種數，這透露了兩件事情：(1) 新育出的品系實際栽培在農田時可能不那麼適應或表現沒有比舊的栽培種更好，(2) 台灣農業環境的生物多樣性相當低，一旦大環境改變，或病蟲生理小種變異後造成病蟲害大流行，將會嚴重打擊農業生產活動。

因此，爲了改善這些狀況，使耗費相當多資源所選育出來的品種，能夠更貼近農民的需求；並且試著改善綠色革命之後，因爲使用少數高產品種所導致生物多樣性偏低的狀況，參與式育種在育種過程中加入了農民的參與，透過與農民在栽培環境與需求的適應及討論以達成這些目標。

爲了確認參與式育種能夠成功的要件，本文就參與式育種的理論與策略方面進行討論，藉由了解參與式育種的理論基礎與育種策略，對應台灣實際上應用的狀況，以期在未來能夠對現在面臨的狀況有所建議。

## 參與式育種的理論基礎

### 影響外表型的因子

就像所有生命一樣，植物的外表型，是透過本身遺傳而來的基因型，與環境產生互動最後呈現的結果。在育種時，希望可以透過增進各項指標，使作物具有優良的外表型，例如適當的株高、較少的病蟲害侵擾、具有更高產量與更高品質的收穫。爲了瞭解基因型與環境是如何影響作物的外表型，在育種過程中，育種家透過試驗設計的方法，在外表型(Phenotype)=基因型效應(Genotype effect)+基因與環境交感效應(Genotype × environment interaction)+環境效應(Environment effect)的模式之下，分別去估計各個因子的效應，藉由對於各個效應的了解，從各個方面來增進外表型。

要瞭解基因型效應，除了透過試驗設計的方法可以估計得到之外，隨著現代分子生物學的發展，在遺傳物質定序完成後，透過分子標記的使用，進行分子輔助育種(Marker assisted selection, MAS)，不僅是質的性狀可以了解是受到位於哪些染色體上的哪些基因調控，數量性狀也可以不僅了解是由哪幾個基因調控，甚至影響的量有多大也能估算，因此在分子生物學的輔助之下，基因型效應對育種家來說逐漸從不可觀測變成可觀測，可以更精確的估計。育種家透過各種方法，試著組合最佳的基因型，使作物擁有更好的外表性狀。

環境效應則除了非生物因子(如土壤、氣候等)和生物因子(病蟲害)影響之外，影

響環境效應的因子相當多且估計不易。在一般的試驗設計之下，對於不是主要評估因子時，盡量控制在相同處理的狀況，並且透過重複試驗區塊數與擴大試驗田區來降低環境效應，並將環境效應視為試驗機差。但環境效應並不是不能與以增進，農民透過各種農業操作，可以有效改善種植環境，在雨量缺乏或雨量過於集中的地區，可以透過水利工程的建設設立溝渠及水庫，提供充足而穩定的水分灌溉供應；又或是可以藉由改變種植方式與種植密度，使作物能夠獲得充足的陽光與適當的通風以避免病蟲害的流行，使單位面積的整體產量增加。

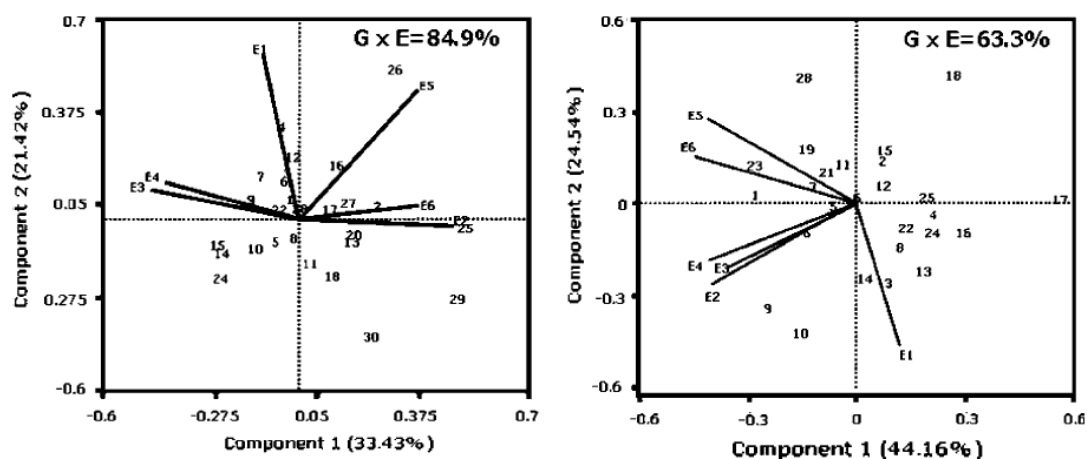
至於基因與環境的交感效應，又較環境效應來的複雜，雖然在統計上可以透過 biplot 方法估計交感效應，但在一般的育種目標設定當中，希望該品種與環境的交感效應低，選出在各個環境皆表現相對優良的高產品種，目前的多數商業品種都在這樣的目標設定下選育出來。但是因為環境相當多樣化且基因與環境的交感效應普遍存在，若能有效增進此部份的影響，具有較專一適應性的品種，可創造具有比一般商業品種具有更優良表現的品種，為了增進此部分的影響，透過農民參與選育過程，直接在農田進行選種，使用參與式育種的方式可以利用基因與環境的交感效應來增進作物外表型的表現。

### 選拔的效率

在育種的過程中，對基因型的增進，透過選拔優良性狀或增加優良性狀頻度，淘汰或降低不良性狀頻度，使選拔後的品系或族群比選拔前擁有更佳的表现。選拔增進透過選拔強度與遺傳變方的多寡和遺傳率來估算，一般來說，在育種時次序分別為(1)估計該性狀的遺傳變方與遺傳率、(2)設定選拔強度、(3)估計選拔增進。若該性狀的遺傳率高，則可在較早世代使用譜系法進行育種，縮短育種年限；而遺傳率較低的狀況下，則在較晚世代使用混合法進行育種較為有效。

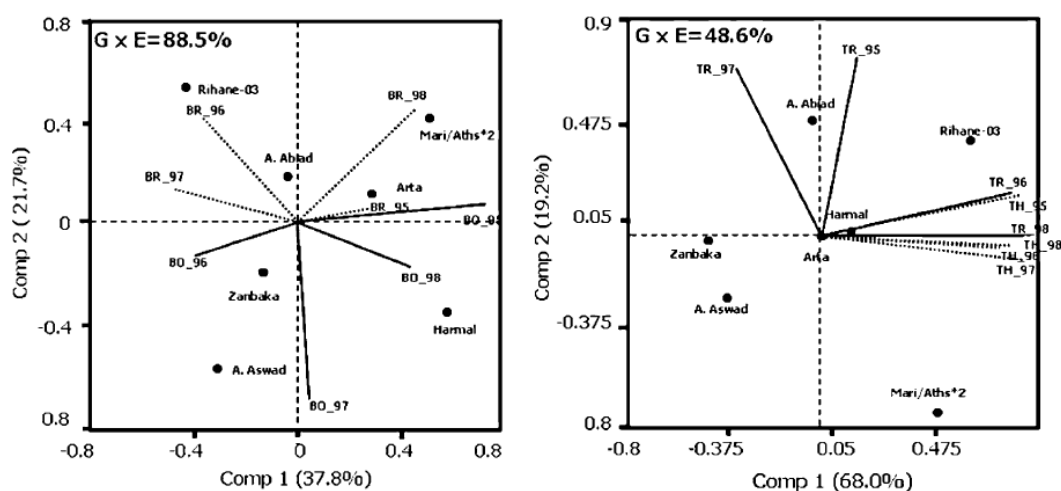
但在估計該性狀的遺傳變方與廣義遺傳率時，受到環境效應和基因與環境的交感效應所影響，當環境效應所佔總外表變方的比例越大時，廣義遺傳率便會降低。使選拔增進降低，選拔較為無效；而一旦環境與基因的交感效應存在時，不僅是選拔效率降低，甚至會影響選拔的方向，例如對光敏感的水稻在日本可以使作物在即將入冬之前完成充實獲得較高的產量與品質，但是在台灣種植就會發生過於早熟生長期太短而收穫不佳。(盧，2007)

因此一個值得討論的問題是：在試驗站或改良場所作評估與選拔時，尤其是當環境與基因的交感效應存在時，這些估計的參數是不是真的能夠對應到農民生產的農地，這將會影響到在試驗站因為透過遺傳增進的部份，是不是真的能在農民種植的農田中一樣表現增進。在(Ceccarelli *et al.*, 2001)的報告中，以三十個大麥品種在六個環境下，以 biplot 分析基因與環境交感所得的圖一可以發現基因型與環境存在交感效應，且交感效應的程度與該作物存在於不同環境有關。



圖一：左圖各個數字標出的點分別為三十個大麥品種，在位於摩洛哥的六個環境種植下，透過 GGE biplot analysis 矩陣轉換後的座標點，其中 E3, E4 為兩個試驗單位的環境，E1, E2, E5, E6 則是四個不同農民的農田環境；在右圖中則是種植於坦桑尼亞的狀況，E1-E4 是四個農民的農田，而 E5, E6 是兩個試驗單位的環境。(Ceccarelli *et al.*, 2001)

在圖一中，Ceccarelli *et al.* (2001)認為基因與環境交感程度相當高而不容忽視，另外注意到試驗單位的彼此之間的相似度較高，而農民的農田之間彼此和農田與試驗站之間的相似程度較低，可能是因為試驗場所可投入較高且一致的田間操作(如：施肥、雜草防除等)，因此可以在人為的狀況之下創造比較一致的栽培環境，降低環境變異，試驗站與試驗站環境之間的相似程度增加。



圖二：1995-1998 四年中大麥產量的基因與環境交感效應，左圖為在低雨量的 Bouider(BO)和 Breda(BR) (平均產量 1.3t/ha)的分析結果；右圖為在高雨量地區的 Telhada(TH)與 Terbol(TR) (平均產量 3.5t/ha)的分析結果(引用自 Ceccarelli and Grando, 2002)。

另外對於在不同環境狀況之下，交感效應是否相同，導致遺傳率使否會改變的問

引用：康樂 2009 農民參與育種的策略與理論。國立台灣大學農藝系大學部專題討論。

題方面，Ceccarelli and Grando (2002)發現在環境較差、水分不足的環境之下，交感效應接近 90%，遠高於環境較佳水分充足環境的<50%(圖二)。顯示在環境與基因交感效應較高的狀況之下基因型變方將更難達到顯著水準，可能會增加分析上的困難，導致選拔效率不佳。

整體來說，假設在一個連續的環境，隨著逆境增加，兩個基因型的表現可能會交叉，在交叉點對應到的環境，其遺傳率最低，在兩端點的遺傳率較高，爲了分析上的方便，如果目標環境優於在交叉點對應到的環境，在具有高產潛力的環境選拔的效果可能較好；反之如果目標環境劣於交叉點對應的環境，在逆境較大的環境可以獲得比較好的選拔效果(Dawson, Murphy and Jones, 2008)。

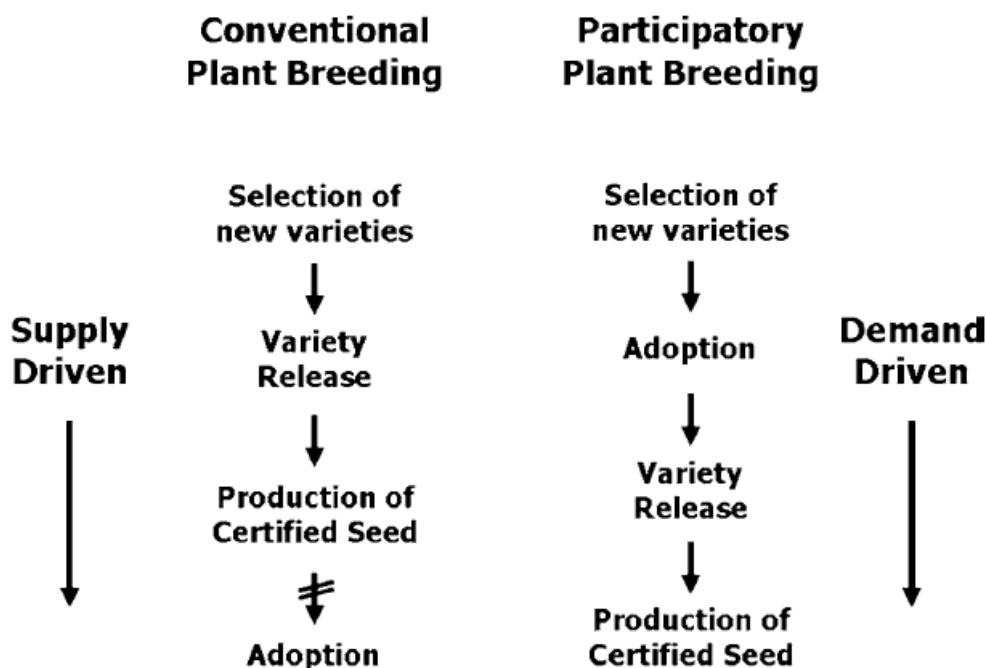
Ceccarelli (1994)將環境x對環境y的選拔效率定義爲 $CR_x/R_x=r_g*h_y/h_x$ ，其中 $CR_x$ 是在x環境選拔而在y環境可回報的相關率，而 $R_x$ 是在x環境選拔的而在x環境回報的相關率， $r_g$ 是基因的相關係數， $h_y$ 和 $h_x$ 分別爲在兩地開根號的遺傳率，因此當基因相關係數相當低的時候，在x環境下遺傳率必須比在y環境下大數倍，這樣的狀況間接選拔才有效果。他以大麥的例子的計算結果：在農田直接選種的方式來做選拔，比在高產環境下選拔的效率高達 28 倍。

因此，除了可以透過在多個環境重複與提高估計的廣義遺傳率之外，直接在目標環境，也就是最後種植該品種的農田進行選拔，可以有效的增進選拔的效率，參與式育種利用這些原理，讓育種工作分散到各農民的田區進行，可以有效的進行選種。

### 參與式育種的核心目標

和傳統育種一樣，參與式育種目標第一要務就是要選育出一個新的好品種，再來便是這該品種必須適應環境。

在一般傳統育種的流程中，理想型的設計與性狀的選擇由育種家所決定(圖三)(Ceccarelli and Grando, 2007)，設理想的外表型之後，以這些外表性狀作爲育種目標選育出新的品種，然後將以命名推廣。這種以供給爲導向的育種方式，往往造成在最後不那麼適應農田環境或是不符合農民期待，雖然投資了相當多心力，新品種卻無法被農民採用，而且一些育種家認爲優良的性狀農民不見得會認同。



圖三：傳統育種與參與式育種的流程比較(引用自 Ceccarelli and Grando, 2007)。

例如在一些雨量不足的環境，作物為了適應缺水的環境，植株高度將會縮小且莖桿較堅硬，因此一些適合在缺水環境的品種，在水份充足的狀況，外表性狀應該選擇植株高大且莖桿柔軟的個體，以便在乾旱時可縮小至適當的株高，而莖桿也不會堅硬到讓牲畜難以食用(Dawson *et al.*, 2008)。

因此在參與式育種的概念，為了達成有效選拔出適應目標環境的品種，應該在農民的農田，以農民所能接受的操作方式種植進行田間試驗並且直接在農田中加以選拔，因為有部分的選擇，所以作物不僅直接適應目標環境，選拔強度也將會隨之增加，提升選拔增進(Suneson, 1956)。

另外由於直接在農田中選拔，基因與環境的交感效應不再變成選拔的障礙，在傳統育種程序下，僅在某些環境具有特殊表現的品種，往往在多區域試驗中因為與其他環境交感效應的表現不佳，影響了平均產量評估而慘遭淘汰，但是直接在農田選拔的過程中不會淘汰這些在目標環境之下的表現，優於那些在多區域平均表現不錯的品種。

在參與式育種的程序操作上，選拔時應該讓農民參與討論，因為農民擁有各方面地方知識，可以對於應當選拔哪些可以適應當地環境的性狀提供意見，一些育種家青睞的性狀可能對農民來說沒那麼有吸引力，而一些性狀可能具有其他社會意義而加以選拔或淘汰。

在農民參與性狀選拔的過程中，可以讓一個品種的產生，以需求為導向，先進行

對環境的適應，使得最後選育出來的品種不致於浪費且切合市場需求。

在農民參與選拔的過程中，除了可以運用在地知識，增進品種的適應力之外，因為知識的交流是雙向的，育種家也可以透過討論的過程，使農民具備更多知識，讓農民在種植作物的操作上能夠提供作物生長更好的環境，從環境效應方面提升作物的外表型。

由於目前栽培品種多為育種家所創造的高產純系(或是以雜交作物為材料的雜交一代( $F_1$ ))品種，品種選擇少，且在高產量的育種目標之下，親本的選用範圍狹窄，多數地方種被捨棄不用，造成嚴重的遺傳流失(Genetic erosion)，一旦環境發生改變，生產將會遭受嚴重打擊。在多數低投入或有機農法耕種時，若是維持高的生物多樣性，可以有效的適應複雜的環境，參與式育種目標之一就是要增加生物多樣性，不過這並不代表參與式育種不能育出純系品種，參與式育種如同一般育種流程一樣可以培育出純系品種(Ceccarelli and Grando, 2007)，自交作物在自交多個世代之後同質結合率就已經相當高，但在同一地區因為參與式育種可以創造更多具有相當優良適應能力的品種，使整個農田內作物族群的基因多樣性增加。(Desclaux, 2005)

## 參與式育種模式

### 應用在低投入環境下的策略

在低投入或者有機農法環境下，因為投入的資源降低，農民對於作物的生產環境改善受到限制，作物生長時必須對抗的逆境(如病蟲害，肥料不足等)增加，Ceccarelli et al. (2001)提到在這種環境之下，基因與環境的交感效應增加，參與式育種如能夠善加利用增加的交感效應，將可以獲得比在大多數地區表現「佳」的商業品種，有「更好」表現的品種。

在許多低投入或是有機農法的環境之下，在地知識的利用相對重要，在地知識可以提供選拔適合當地環境的優良性狀的意見，並且除了可以提供在作選拔時作為選拔指標的依據，也可以透過在討論的過程，使農民改善耕作方法，更有效的達到提高產量與品質等等的育種目標。

在低投入或有機農法的狀況之下，作物的生長環境容易隨著時間改變，利用基因多樣性高的品系(族群)，可以對環境具有更佳的適應力，並且具有穩定產量與品質的能力，這些基因多樣性高的品系，只要保有雜交的機會，以及在村落之間種子彼此的交換，就可以繼續在農田裡隨著時間演化，連續性的適應環境。(Ceccarelli and Grando, 2007)

## 應用在高投入環境下的策略

在高投入的環境之下，因為可以投入足夠的肥料以及農用藥劑，因此在區域與區域及農場與農場間，對作物的生長環境來說差異並不大，似乎參與式育種的效率並不是那麼高，但是參與式育種並不是僅針對物理環境的適應，還針對了社經環境的適應。

以農民的角度來說，有興趣的性狀會和育種家不太一樣，因為儘管可以高投入，但是最終決定的因素仍然是最後的收益，也就是說，投入資源達成一個最佳的農業生產環境使產量增加，就經濟學上不一定是最好的投資(Dawson *et al.*, 2008)。

而一個農民若能夠獲得數個相當適應當地環境的品種，當病蟲害流行時，因為該品種對病蟲害抵抗力強，損失降低，而經濟危害水平與經濟閾值可以提高，因此可以減少農用藥劑施用，降低成本；又該產品若經過計算之後提升品質的經濟效應高於提升產量的經濟效應，那麼對該農民來說，高產量就不若高品質那麼的重要。

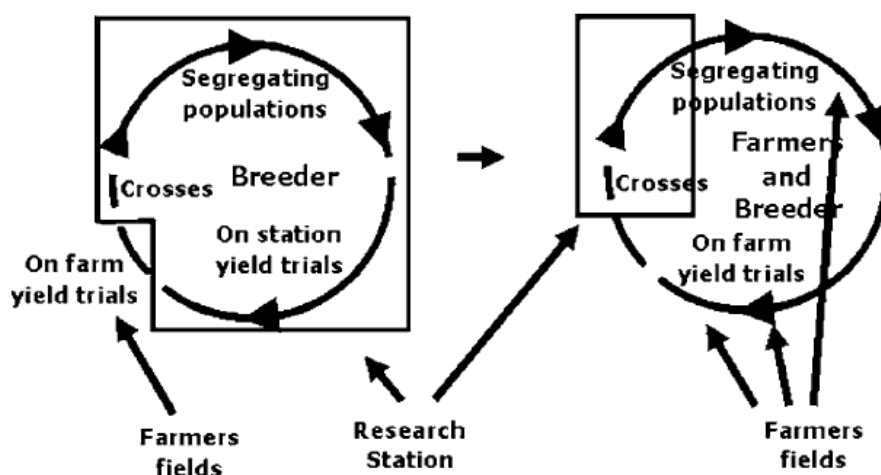
另外，在許多具有高產潛力的農場，擴大試驗規模比起在試驗站較小規模的試驗來的更有檢定能力，微小的差異能夠在較大規模的試驗中得到顯著差異，並且參與式育種中產生的品種的種子因為是從田間生產取得，農民可以不用像種子公司購買商業種子，可節省種苗購買的支出，亦可增加對種子的掌控能力，在經濟生產上更有利(Dawson *et al.*, 2008)。

多樣化的品種仍然是有幫助的，在許多高投入環境的農場幅員廣闊，包含了不同的微氣候區(Dawson *et al.*, 2008)，多樣化的品種有助於產量與品質的穩定，使收入穩定。當然，允許高投入的農場也可能因為經濟與對環境保護議題考量，轉型成為有機農場，此時參與式育種就更能發揮其助益。

## 分散化的參與式育種程序

分散試驗地點育種雖然與參與式育種是兩個概念，但是兩者息息相關 (Ceccarelli and Grando, 2007)，在一般雜交育種程序，育種家選定親本進行雜交之後，透過譜系法或混合法進行選拔，然後經過初級試驗、中級試驗、高級試驗、區域試驗及地方試驗等產量及環境穩定性試驗之後，優良的品系給予命名，以一年可進行一個世代來計算，一個品種的產生大約需要十餘年。而分散化的參與式育種，育種家選定了優良的親本(通常選用地方種)進行雜交， $F_1$ 、 $F_2$ 世代的分離族群在試驗場所生長，然後將這些早世代的分離族群，混合蒐集種子，在農民的農田中進行約四年測試。





圖四：左邊表示一般傳統育種的模式，右邊表示分散化的參與式育種模式(引用自 Ceccarelli and Grando, 2007)。

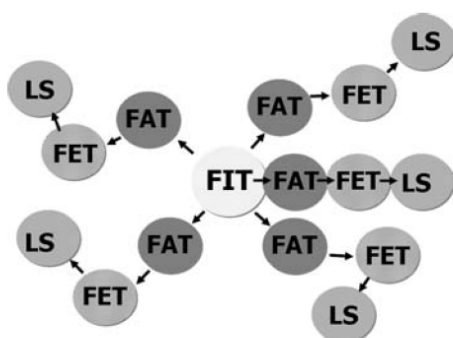


Fig. 5 A model of participatory plant breeding in one village: from the farmer initial yield trial (FIT), grown by one farmer, participatory selection identifies the lines grown in the farmers advanced yield trials (FAT) by more farmers (5 in the figure). The process is repeated to identify lines grown in farmer elite trials (FET) and in the initial adoption stage (LS or large scale trials). The model takes 4 years for the full implementation

首先進行農民初級試驗(Famer initial yield trails, FIT)，試驗材料(F<sub>3</sub>世代)不需重覆而進行選拔，系統性的調查性狀，從農民初級試驗選出的品系(F<sub>4</sub>世代)，進入接下來進行的農民高級試驗(Farmer advanced yield trails, FAT)，各個品系的試驗面積增加，並且在村落間進行重複，因為試驗區域包含了各個農民的農田，所以試驗材料將在這些早世代選拔中具有適應這些環境或是農業操作的能力；從農民高級試驗選出的品系(F<sub>5</sub>世代)將進行農民終級試驗(Farmer elite yield

trials, FET)，試驗面積為農民高級試驗的兩倍；隔年(F<sub>6</sub>世代)進行不重複的大面積(Large scale trails, LS)試驗，然後釋放品種(F<sub>7</sub>)。因為直接在農田選種，邊選拔邊進行產量試驗，因此可節省傳統育種的各級產量試驗時間，以及檢驗區域適應力的區域試驗，所以整體育種時間比傳統的譜系法或混合法育種可縮短約三到四年。

參與式育種中各項試驗(FIT、FAT、FET)類似於傳統育種中的多環境試驗(Multi-environment trails, MET)，但仍有以下兩點的主要差別：(1)多環境試驗中所選擇的環境主要是針對品種對物質上的環境(如氣候、土壤等)的適應能力；而參與式育種的試驗則不僅針對物質上的環境，還包括社經環境(如：農民的操作，產品在市場的接受度等等)。(2)多環境試驗中所得到的資訊，主要是用來評估各

引用：康樂 2009 農民參與育種的策略與理論。國立台灣大學農藝系大學部專題討論。

品系基因型，在不同環境下所表現如穩定性等價值，但在參與式育種的試驗中，這些蒐集到的資訊則是強調尋找該品系在長時間，及特定地點的表現。(Cecarelli, 2007)

在這樣的試驗過程中，從大規模試驗中選出的品種為 $F_{3:7}$ 或從 $F_3$ 世代所選出更高自交世代的族群，同質結合率已達 98.4%；在作變方分析時，其中可遺傳的總累加性變方已達 1.97 個 $V_a^*$  ( $F_2$ 族群的累加性變方)，趨近於極限的 2 倍 $V_a^*$ ，具有高度的基因型變方來適應環境，家系內基因型的遺傳變方，穩定而可遺傳的非累加性變方與不可遺傳而不穩定的非累加性變方的比例也達到 8:1，因此選出來的品系在純度上也已經達到相當穩定。

Suneson (1956) 認為在確保所釋放的品系具有足夠適應力的條件下，這樣的育種模式所消耗的成本最少，因此可以有效率的產生新的品種。

### 試驗設計

因為在比較早世代進行選拔，同質結合率較低的狀況會造成各個影響外表型的因此效應評估能力較差，影響對於選拔增進的估計，使用不妥的選拔強度對這些早世代分離族群來進行選拔，因此需要運用試驗設計來對產量等遺傳率較低的性狀進行較準確的估計。

在農民初級試驗時，參試的品種並不重複，可隨意採用各種未重複的設計來安排在田區行列內種植的位置，以每 5~10 個家系為單位進行系統性的調查，試區大小從 2m~12m。

農民高級試驗和農民終級試驗的設計，可使用二重複的拉丁方設計，或是使用二或三重複的完全隨機區集設計，或是一些標準的具有重複的試驗設計方式，每個試區大小約 10~45m，每個農民的農田可能會同時進行好幾個試驗，因為設計包括環境上的重複，因此可以使用 GGE Biplot Analysis 法進行環境效應及基因與環境交感作用的分析，了解品種與環境間是否存在交感效應，評估是否適合在多區域種植。最後的大面積試驗設計不重複，主要評估該品系在各個農田與原先栽培種的對比差異。

因為在分散化的參與式育種的試驗當中，具有環境上的重複，因此可以獲得和多環境育種相同質與量的資料提供分析，另外在系統性的資料中也能評估該品系在多年之內的穩定度(Cecarelli, 2007)。所以，在進行分散化的參與式育種時，雖然在早世代就加以選拔，對於遺傳率低的性狀可以透過較大的試區、較多的環境重複來較精準的估計影響外表型的各個因子效應，確認選拔增進的幅度。

## 模式成果

運用參與式育種，在增進生物多樣性方面，以(Cecarelli ,2007)在錫蘭對大麥進行的參與式育種為例(表一)，總共有 412 個品系通過農民初級試驗，238 個品系參與農民高級試驗，51 個品系參與農民終極試驗，19 個品系參與大面積試驗。在此育種程序中，參與最後大面積試驗的品種數，比錫蘭國家計畫中，剛進入區域試驗的品種還多，而在錫蘭國家計畫，通常在整個國家最後僅會產生一或二個品種。

**Table 1.** Flow of germplasm, selection pressure, number of farmers participating in the selection and number of lines in initial adoption in one cycle of participatory plant breeding on barley in Syria

	FIT	FAT	FET	LS
Entries tested per village	165	17.3	7	3
Trials per village	1	3.2	3.4	2.8
Entries selected per village	17	8	3.5	1-2
No of farmers selecting	9-10	8-9	8-9	8-9
Total no of entries across the country	412	238	51	19

*FIT* farmer initial trials, *FAT* farmer advanced trials, *FET* farmer elite trials, *LS* large scale trials

關於參與式育種使用到在地知識的個例，Arunachalam *et al.*, (2006) 指出在印度對稷子(*finger millet, Eleusine coracana*) 的參與式育種研究上，因為育種家對此作物並不熟悉，不了解應該選拔哪些性狀來增進此作物的產量與品質，運用在地知識，在農民參與選拔的狀況下，有效的選出優良品種，還藉由研究性狀與產量的關係，定位出了兩個數量基因，並且透過育種家與農民的討論，改進農民對於該作物的種植方法，稷子和水稻分別增產了 25%和 51%，整體的產量從低於每公頃 1000 公斤提升至每公頃 2000~2550 公斤(表二)，在此研究中育種家能快速的瞭解稷子在育種時重要性狀，便是利用了在地知識。

Sperling *et al.* (1993) 在羅馬尼亞的豆類育種研究中發現，農民選出來的品種平均比傳統的混合品種增產了 38%，而在試驗站選出來的僅比傳統的混合品種增產 8%；六年之後有 71%農民選出來的品種仍然在使用，其中有 35%當作混合品種使用，32%則當做雜交親本使用。

表二：地方品種稷子 Pichakaddi (PK) 和 水稻 Belinellu (BL) 在不同耕作操作下產量的比較 (引自 Arunachalam *et al.*, 2006)

		Mean Yield kg/ha	Range	c.v.	No. of farmers
PK ragi	A. Farmer method	1917	1500 - 2250	12.4	13
	B. Line sowing	2393	2000 - 2550	9.8	8
	B/A	1.25			
BL Rice	A. Farmer method	2125	1400 - 3000	26.0	8
	B. Line sowing	3217	3000 - 3500	8.0	3
	B/A	1.51			

*c.v.* - coefficient of variation

而以育種成果對農業的增益來進行比較，Lilja and Aw-Hasaan (2002) 在錫蘭估計以傳統育種方式育出品種，農民的收益約為 21.9 百萬美金，而在三個參與式育種的評估中，效應從 42.7~113.9 百萬美金，可以明顯的看出參與式育種在開發中國家幫助的效果較傳統育種來的高。

從以上研究中可以發現，參與式育種可以達成其育種目標：育出適當品種、提升產量與品質、改善耕作技術及增加生物多樣性，並且同時降低育種成本，增加對農業的增益。

## 分區育種

參與式育種對於選拔效率上的增進，主要是基於直接育種對於選拔出的品種，具有基因與環境交感的優良效應，對於環境有較好的適應力，對於此部分的增進，在傳統育種的方法中，分區育種同樣也是目標創造具有特殊環境適應能力品種的育種方法之一。

台灣雖然面積不大，但是因為北回歸線通過，南北氣候差異頗大，繆進三 (1965) 對於台灣是需要行分區育種所進行的研究中，發現在台灣南部選育出來的品種有向北適應的趨勢，而北部選育出的品種，在別區的適應力上表現較差，但是與歷史上在北區選育出的台農 67 號曾佔總裁培面積的 70% 顯得有所矛盾，而且在歷史上有不少品種顯示出優良的廣適應性，全省栽培面積佔相當高的比例的狀況，建議並無分區育種的必要，在嘉義及台中育種的效果為最佳。

在本文章前面討論選拔效率的議題時，提到當兩環境相關程度高，且目標環境與選拔環境皆在交感交叉點的同側時，較極端的環境將會有比較高的育種效率，或許是因為在繆 *et al.* (1967) 的研究試驗中，選育與評估皆屬試驗站性質，農藝操作方式與投入相似，兩環境的相似程度高，而導致在部分試驗站因為具有較高的病蟲害發生率等因子導致選拔較有效率。

但是繆 *et al.* (1967) 的研究試驗中亦提到，在各試區評估不同地區選育出來的品系群之間有顯著差異，且各試區前五高產的品種與品系群出現的次數不同(表四)，意味著基因與環境的交感效應存在，品種間仍然具有特殊的環境適應能力差別。在其他作物，許 (2006) 亦建議台灣甘蔗育種程序上可進行分區育種，因此在台灣，分區選種是否具有更佳的环境適應力，期待更多的研究來驗證。

引用：康樂 2009 農民參與育種的策略與理論。國立台灣大學農藝系大學部專題討論。

表三：各地選育之品系群在各試區之產量排名表（整理自繆，1965）

一 期	二 期	台北品系群	臺中品系群	嘉義品系群	屏東品系群
台北		無差異 4	無差異 3	無差異 2	無差異 1
台中		無差異 2	無差異 3	無差異 4	無差異 1
嘉義		無差異 4	無差異 3	無差異 2	無差異 1
屏東		3 缺值	4 缺值	1 缺值	2 缺值

表四：在各試驗區一、二期產量前五名，各品系群出現的次數(整理自繆 *et al.*，1967)

一 期	二 期	台北品系群	臺中品系群	嘉義品系群	屏東品系群
台北		1 0	1 0	0 2*	3 3*
台中		0 3	4 0	1 0	0 2
嘉義		0 0	2 0	2 2	1 3
屏東		0 缺值	0 缺值	3 缺值	2 缺值

\*收穫的穀粒為青粒充實不全，商品價值低。

## 結論

參與式育種目標，在創造具有最佳環境適應力，且符合農民需求的品種，並且透過與農民的互動中，使農民具有更佳的栽培技術，對農業生產環境也增加的生物多樣性，降低遺傳流失。

雖然比較缺乏應用在高投入地區的研究資料，而在台灣分區育種是否真的能夠創造具有最佳環境適應力的品種也意見分歧，但是在許多開發中國家或是在有機農法中，參與式育種對於農民的助益相當顯著。

在選拔具有最佳的環境特殊適應力的考量下，可能排擠掉傳統育種所追求的具有多環境適應力的品系，但是在商業市場區隔的角度，一個僅適合台灣或某鄉鎮栽培環境的品種，不必擔心品種在其他地區種植而造成競爭，反而具有較佳的競爭能力。

## 引用文獻

- 許孫源 (2006) 甘蔗育種。科學發展(397): 6-13。
- 繆進三 (1965) 不同環境因子對稻雜交育種後代集團遺傳形質選擇之影響：第一報，各地育成新品系群產量趨勢線之差別。中華農業研究，14(2): 1-12。
- 繆進三、張魯智、張正敏 (1967) 不同環境因子對稻雜交育種後代集團遺傳形質

引用：康樂 2009 農民參與育種的策略與理論。國立台灣大學農藝系大學部專題討論。

選擇之影響：第二報，各地區育成新品系群產量變量分析。中華農業研究，16(1): 1-30。

盧虎生 (2007) 全球暖化對於臺灣稻米品質之影響與對策。侯福分(編)，全球暖化對台灣稻米產業之影響研討會專刊，行政院農業委員會花蓮區農業改良場，頁 1-17。

Arunachalam V, Naik S, Prasad K and Ramprasad V (2006) Indigenous technical knowledge driven crop improvement. In Arunachalam V (ed.), International Symposium on "*Participatory Plant Breeding and Knowledge Management for Strengthening Rural Livelihoods*", M. S. Swaminathan Research Foundation, p. 87-101.

Ceccarelli SS (1994) Species adaptation and breeding for marginal conditions. *Euphytica* 77:205–219.

Ceccarelli S, Grando S, Amri A, Asaad FA, Benbelkacem A, Harrabi M, Maatougui M, Mekni MS, Mimoun H, El Einen RA, Felah M, El Sayed AF, Shreidi AS and Yahyaoui A (2001) Decentralized and participatory plant breeding for marginal environments. In: Cooper D, Hodgink T, Spillane C (eds.) *Broadening the Genetic Base of Crop Production*. CAB International, p.115–135.

Ceccarelli S and Grando S (2002) Plant breeding with farmers requires testing the assumptions of conventional plant breeding: lessons from the ICARDA barley program. In: David DAC, Soleri D (eds) *Farmers, Scientists and Plant Breeding: Integrating Knowledge and Practice*. CAB I Publishing International, Wallingford, Oxon, UK, p. 297–332.

Ceccarelli S and Grando S (2007) Decentralized-participatory plant breeding: an example of demand driven research. *Euphytica* 155:349–360.

Dawson C, Murphy M and Jones S (2008) Decentralized selection and participatory approaches in plant breeding for low-input systems. *Euphytica* 160:143–154.

Desclaux D (2005) Participatory plant breeding methods for organic cereals: review and perspectives. In: Lammerts van Bueren ET, Goldringer I, Østergard H (eds.) *Proceedings of the COST SUSVAR/ECO-PB workshop on organic plant breeding strategies and the use of molecular markers*, 17–19 January 2005, Driebergen, The Netherlands. Louis Bolk Institute, Driebergen, The Netherlands.

Suneson CA (1956) An evolutionary plant breeding method. *Agron J* 48:188–191.