

农作物遗传多样性农家保护的现状及前景

卢宝荣^{1*} 朱有勇² 王云月²

1(复旦大学生物多样性科学研究所,教育部生物多样性与生态工程重点实验室,上海 200433)

2(云南农业大学植物病理重点实验室,教育部农业生物多样性与病害控制重点实验室,昆明 650201)

摘要: 农作物地方品种的有效保护是农业生物多样性可持续利用的基础。由于现代农业的集约化生产方式使大量农作物地方品种被少数高产改良品种所取代,造成农作物基因库的严重“基因流失”(genetic erosion)。农家保护是在农业生态系统中进行的动态保护,被保护的生物多样性可在其生境中继续进化而产生新的遗传变异,因而是农业生物多样性就地保护的重要途径。然而,尽管人们对作物品种资源农家保护的利益不断增长,也有大量有关农家保护的研究和案例分析,但目前为止还没有比较成功的农家保护实例报道。因此,对农家保护的机制及科学问题进行深入的研究,并寻求一条新的途径来充分发挥农家保护应有的作用,显得尤为重要。利用生物多样性布局的水稻混合间栽的生产模式,不仅解决了病害控制的问题,而且也保护了水稻地方品种的多样性。这种混合间栽的生物多样性布局和生产方式可能成为农家保护的一条新途径。

关键词: 农业生物多样性,就地保护,地方品种,基因流失,混合间栽

中图分类号:Q16,S602.4

文献标识码:A

文章编号:1005-0094(2002)04-0409-07

The current status and perspectives of on-farm conservation of crop genetic diversity

LU Bao-Rong^{1*}, ZHU You-Yong², WANG Yun-Yue²

1 Ministry of Education Key Laboratory for Biodiversity Science and Ecological Engineering, Institute of Biodiversity Science, Fudan University, Shanghai 200433

2 Ministry of Education Key Laboratory of Agriculture Biodiversity for Plant Disease Management, Key Laboratory of Plant Pathology, Yunnan Agricultural University, Kunming 650201

Abstract: Effective conservation of traditional crop varieties is the basis of the long-term utilization of agricultural biodiversity, and will be one of the essential factors for the sustainable development of agriculture. Due to the intensive production practices in modern agriculture, a great number of traditional crop varieties have been rapidly replaced by the improved high-yielding varieties, which has caused severe “genetic erosion” in the gene pool of crop species, and significantly reduced genetic diversity of crop varieties. It is therefore essential to preserve the shrinking crop biodiversity before it is completely lost. On-farm conservation is an important and dynamic *in situ* conservation method that conserves crop varieties in agricultural ecosystems. On-farm conservation can be defined as the continued cultivation and management of a diverse set of crop populations by farmers in the agro-ecosystems where a crop has evolved, and it allows the evolution of conserved crop varieties to be continued in their original habitats. However, in spite of the increasing interests in this method and a relatively large number of research and case studies reported in this field, there has been no significant achievement for on-farm conservation and many questions remain unanswered: Is on-farm conservation practical and achievable? Can on-farm conservation actually be conducted in modern agriculture? Is on-farm conservation a trade-off with agricultural development? What are the scientific issues for on-farm conservation? What incentives can there be for farmers to conserve genetic diversity in their farming ecosystems? All these questions need to be addressed scientifi-

cally with satisfaction when conducting effective on-farm conservation. It is therefore necessary to have a better understanding of on-farm conservation, to study mechanisms and scientific basis of on-farm conservation, and to be innovative to open a new dimension for on-farm conservation action.

The biodiverse deployment of rice varieties, mixed planting of modern hybrid rice with traditional rice varieties in Yunnan Province, not only provided an excellent method of controlling rice disease and increasing rice productivity, but also demonstrated a powerful model for conserving traditional rice varieties in an effective and sustainable way. This model of mixed planting of a diverse set of crop varieties links farmer's long-term benefit, socioeconomic concerns, and the actual conditions of locally based agroecosystems appropriately with conservation activities. This model of using biodiversity to preserve biodiversity of crop varieties is a long-term approach that will be sustainable and beneficial to farmers whose general living standard will be raised. It might provide possible solution for on-farm conservation of traditional rice varieties in a feasible and sustainable way, and probably has potential for other crop species, too.

Key words: agricultural biodiversity, in situ conservation, traditional variety, genetic erosion, mixed cultivation

自绿色革命以来,农作物品种遗传改良的巨大成功和少数高产品种的大面积集约化生产,造成了严重的农作物品种“基因流失”(genetic erosion),极大地降低了农作物的遗传多样性(Nevo, 1995; Sing, 1999)。由此而带来的一系列问题,如病虫害的猖獗及其流行周期的缩短,高化肥、高农药的施用,农业生态环境变劣和基因资源的匮乏等,严重地威胁着农业的可持续发展和世界的粮食安全保障(food security)(Shigehisa, 1982; Bonman 1992; 卢良恕, 1996; 戴小枫等, 1997; Qualset *et al.*, 1997)。农业生物多样性的保护早已引起了人们的高度重视并提到了议事日程(WRI *et al.*, 1992)。

对农作物的遗传多样性特别是农作物品种遗传多样性的保护,通常采用迁地保护(*ex situ* conservation)的对策。在20世纪80年代中期,世界主要农作物的迁地保护已取得了巨大的成功(Maxted *et al.*, 1992),对各类主要农作物品种资源已进行了全球范围内的大规模和系统的收集、整理和评价,同时还建立了各类大型的种质库(germplasm bank)来对收集的资源进行迁地保护(Hawkes, 1983; Plucknett *et al.*, 1987)。但是农业生物多样性的迁地保护,特别是种质库保护有着以下一些不足(Prance, 1997)(1)迁地种质库保护在进化上是一种静态的保护,贮藏于种质库的资源处于冷冻“休眠”状态,因而丧失了它们可能在其原生境中随环境的改变而产生的适应性进化和产生新遗传变异的机会(2)对于那些“顽拗型”(recalcitrant type)种子(即成熟

后很快就失去生命力的种子)和靠营养器官繁殖的种质资源,种质库保存很难或无法操作(3)由于种质库的容量有限,只能贮藏品种资源的部分遗传多样性,而且在种质资源迁地的栽种、繁殖、评价过程中,又造成大量遗传多样性的丧失,保存的材料已不能代表其原品种的遗传多样性(4)保护的目的在于利用,对于资源原产地的农民和社区而言利用更为重要,而迁地保护使资源远离种质资源的原产地使用者,很难达到“取之于民,用之于民”的目的。再者,许多种质资源一旦入库贮存以后,未能很好地进行动态管理和合理交流,使这些有价值的资源变成了“博物馆的死档案”。上述问题严重地影响了农业生物多样性保护的效率和可持续性。近年来,农业生物多样性农家保护(on-farm conservation)的理念被提了出来。作为农业生物多样性迁地保护的一种重要补充,不少学者对农家保护寄予了极大的希望,并对其意义、机制以及可行性进行了大量研究和探索(Altieri & Merrick, 1987; Oldfield & Alcorn, 1987; Brush, 1991, 1992; 卢宝荣, 1998; Bellon, 1997; Maxted *et al.*, 1997; 郭辉军等, 2000)。本文就农家保护的概念、影响因素、现状及存在问题等作一探讨,并对其发展前景进行展望。

1 农家保护的概念及意义

农家保护是一种就地保护的方法。通常,就地保护是指对野生物种在其原生境进行的保护,而农家保护则是特指对农作物品种的就地保护。对于农

作物地方和传统品种的就地保护,曾有不同的表达方法,但基本含意都是一样的。其中有作物的就地保护(*in situ* crop conservation)(Altieri & Merrick, 1987; Brush, 1995)、以农民为本的作物保护(*farmer based* crop conservation)(Brush, 1991)、作物区域性保护(*locally based* crop conservation)(Qualset *et al.*, 1997)、农地管理保护(*conservation on-farm management*)和农家保护(*on-farm conservation*)(Bellon, 1997)等。“*on-farm conservation*”这种提法在新近的文献中更为常见,也常为学者们所引用(Pham *et al.*, 1996; Bellon, 1997; Harhammer *et al.*, 1997; Maxted *et al.*, 1997; Swaminathan, 1998; Piergiiovanni & Laghetti, 1999; Elias *et al.*, 2001)。国内曾将“*on-farm conservation*”翻译为农地保护(郭辉军等, 2000)。但我们认为,*on-farm conservation* 的理念更强调农民(或人)的作用,因此称为农家保护更为妥当。

农家保护这一概念曾有过不少的定义(Altieri & Merrick, 1987; Brush, 1991; Pham *et al.*, 1996; Maxted *et al.*, 1997),但意思都比较接近,其中下面的定义比较能够全面地反映农家保护的内涵和意义。农家保护是指:农民在作物得以进化的农业生态系统中继续对已具有多样性的作物种群进行种植和管理的过程(The continued cultivation and management of a diverse set of crop populations by farmers in the agro-ecosystems where a crop has evolved)(Bellon, 1997)。这些作物种群还包括了农作物栽培品种以及与农作物在同一生态系统中共同生长和进化的作物野生近缘种和杂草类型(*weedy type*)。由于农家保护是在农业生态环境中通过农民的农事活动来进行的,因此它是一种动态的保护方法,它的目的在于维持农作物的进化过程以便继续形成多样性。农家保护之所以被认为是农业生物多样性的重要保护途径,而农民在这一过程中又被认为具有十分重要的作用,这是因为(1)作物品种不仅是自然因素(如突变、自然选择等)的结果,更重要的是农民不断的选择和管理的产物;(2)农民的农事活动和决策最终决定了某一作物品种的保留或丧失。由此可见,农业生物多样性的就地保护主要是通过农民的农事活动和管理来得以实现的,是在农业生态系统中进行,被保护的种质资源可在其生境中随着环境的变化而继续进化,使其多样性不断得以丰富。同

时,在一些有野生近缘种及其杂草类型共同生长的环境,栽培品种和野生近缘种之间的基因交流偶有发生,这就提高了产生栽培品种新遗传变异的机率,从而丰富了品种资源的遗传多样性。因此,农家保护下的种质资源不仅可以为目前的研究和育种提供材料,而且也适合于未来,特别是在全球气候和农业生态环境不断发生变化情况下的研究和育种利用,是一种有效和可持续的保护方法(Qualset *et al.*, 1997)。

2 影响农家保护的因素

由于农作物生物多样性的农家保护是在农业生态环境中进行,它直接或间接地受到多方面因素的影响。概括起来,农家保护的成功与否主要受三方面因素,即自然因素、人为因素和农作物自身因素的影响。了解某一个具体的农业生态环境中上述因素的变化规律,掌握哪些是决定农作物生物多样性产生及其维持的关键因素,以及哪些是容易发生变化但又可以进行人为控制的因素,对于有效进行农家保护非常必要。

2.1 自然因素

栽培农作物是由其野生祖先种在特殊的自然环境下进化而来,因而某一农业生态环境下的自然条件,如地形、地貌、温度、气候、土壤和物候条件等将会在很大程度上影响农作物品种自身的生物多样性形成及其水平和分布,同时也决定了当地的农业耕作和管理方式。这些因素都会影响农业生物多样性的类型(如作物品种的种类及丰度)以及采取什么样的措施来对其进行保护。

2.2 人为因素

在农家保护的观念中,农民的活动和决策决定着农作物品种及其多样性是否被保留下来,决定着“基因流失”的严重程度。但是,农民的决策又在很大程度上受制于许多其他因素,如:当地的文化习俗、宗教传统、食谱构成、饮食习惯、社会经济、市场需求以及国家或地方的政策等。这些因素的每一个环节和综合作用都会直接或间接地影响农作物品种生物多样性及其保存的状况。例如,经遗传育种改良的作物品种比传统的地方品种高产或具有较好的品质或适口性,在市场上具有很强的竞争能力,农民会逐渐栽种改良品种而摒弃地方品种,这样,丰富的地方品种多样性就可能逐渐被单一的改良高产品种

所代替。而某一种宗教祭祀(如用地方水稻品种祭祖)对特殊地方品种的需求,某一传统文化习惯(如食用特定的糯米年糕)均可以使一些特殊用途的地方农作物品种保留下来,尽管市场和政策可能都已不再需要这类品种。又如,普通野生稻(*Oryza rufipogon*)和杂草稻(*O. spontanea*)的生存在世界许多国家都受到了严重的威胁,在我国80%以上的野生稻种群都已绝灭,现存野生稻种群的范围也在迅速缩小,而在印度东北部却还有大面积野生稻种群的存在,其原因是印度妇女在一个特殊的“斋节”期间,必须要进行“禁食”,只能吃没有耕种过的田地里生长出的稻米,因而,野生稻在市场上的价格比最好的栽培稻品种的价格还高出3~4倍。研究还证明,妇女在不同的社区中对农作物品种保存的决策起着至关重要的作用。

2.3 作物自身的因素

栽培作物有不同的类型,如有多年生、二年生或一年生之区别,有不同的繁殖系统,如自花传粉、常异花传粉和异花传粉等,以及不同的传粉媒介,如风媒、虫媒等。这些不同的生物学特性都会在很大程度上影响作物品种的群体遗传结构、基因交流等,进而影响到作物品种遗传多样性的丰富程度和分布式样而对生物多样性保护的决策提供重要的参考。

3 农家保护的现状及存在问题

对于农家保护及其研究曾有过“热潮期”。翻开几年前的资料,我们会经常见到有关作物品种多样性的农家保护机制和理论方法探索的研究报告(Brush, 1992; Bellon, 1997; Maxted *et al.*, 1997; Qualset *et al.*, 1997),也有大量有关农作物地方品种多样性农家保护的案例分析报告(Bellon, 1991; Quiros *et al.*, 1992; Lando & Mak, 1994)。不难看出,科学家对农家保护曾寄予厚望。对于不同农作物的农家保护方法也曾作过一些探索和尝试,如对水稻(*Oryza sativa*) (Lambert, 1985; Lando & Mak, 1994; Pham *et al.*, 1996)、玉米(*Zea mays*) (Bellon, 1991; Bellon & Brush, 1994)、马铃薯(*Solanum tuberosum*) (Brush *et al.*, 1981; Zimmerer & Douches, 1991; Brush, 1992; 1995)、咖啡(*Coffea arabica*)、高粱(*Sorghum vulgare*) (Worede, 1992)、豆类(*Legume*) (Piergiovanni & Laghetti, 1999)和木薯(*Manihot esculenta*) (Elias *et al.*, 2001)等都进行

了不同规模和类型的农家保护研究。尽管农家保护的概念已经被提出了20多年(Altieri & Merrick, 1987),而且人们对农作物品种生物多样性农家保护的利益不断增长,但是大家对农家保护的利益仍十分有限,特别是对其保护机制更是知之甚少。大多数有关农作物品种农家保护的研究仅局限于对小规模的农户和不发达的地区。迄今为止,世界范围内还没有关于农作物地方品种的农家保护卓有成效的案例报道,特别是在现代农业生态环境中的研究实例和成功的个案更为鲜见。按照传统的定义,农家保护是通过农民对作物品种进行不断栽培和管理等农事活动来达到其目的的,因此农家保护只能由对作物品种保护有兴趣而且愿意从事这项活动的农民来实施,不能强求农民进行地方品种的农家保护(Bellon, 1997)。农家保护的基础应该是农民在生产过程中对作物品种多样性的筛选和维持。因此,必须搞清楚农民为了达到品种多样性保护的利益从事了哪些活动,怎样从事这些活动以及为什么从事这些活动。传统的定义还认为,除农民以外的机构和个人,如科学家、农业科技和推广人员、研究所甚至非政府和政府组织都不能直接参与农家保护活动,而只能帮助或指导农民继续他们在维护作物多样性中所作的努力。这种传统的理念和运作,使得农家保护处在一种被动的状态,科学家和研究机构的作用和积极性都没有得到充分的发挥。另外,不少人认为发展和保护是一种对立的关系,要保护传统的地方品种(通常其产量很低)就无法大面积栽种高产品种而影响农业的发展。因此,只有在偏僻的农业不发达的农村才有可能保存住地方品种,或专门设立区域来对地方品种进行保护(Hammer *et al.*, 1997)。

作物品种多样性的农家保护似乎处于进退维谷的局面。这种保护方法是否可行?是否具有其真正的价值和意义?是否具有可持续性?特别是在现代农业生态系统中,在以作物的高产改良品种为主导的农业耕作模式下如何进行品种多样性的农家保护?作物品种多样性的保护是否真的会与农业的发展相冲突?这些问题都只有通过深入的科学研究来解答。但有一点必须明确,农家保护必须跳出传统的思路,必须寻求新的有创意和有效的方法来进行,才会取得突破性的成果,才会充分发挥农作物生物多样性就地保护的巨大作用。

4 农家保护应解决的科学问题

作物品种的农家保护正处于一个寻求开拓和创新的困难时期。这种保护方法之所以在理论上非常令人鼓舞和振奋,而在实际操作中却未能有较大的突破和显著的成果,也许是因为传统思维上对农家保护的定位。我们认为作物品种多样性是人类共同的财富,不能让这些宝贵的多样性资源丧失在农业发展的过程中。农业的可持续发展、全球的粮食安全以及农业生态系统的稳定和平衡都需要农业生物多样性的维持和保护。农家保护已经不再仅仅是农民的事,而是全社会的事,是包括科学家、科研机构、农业技术人员、非政府组织和政策制定机关以及政府部门都应该共同关心的事。农家保护的机制和实践中还有许多科学问题需要研究和探讨。我们认为应该对与农家保护有关的以下科学问题进行深入的探讨:

1) 现有农业生态环境中农作物地方品种是否仍具有丰富的多样性?多样性的分布如何?在不同的农业生态环境中(如发达或边远农村)多样性的水平有何差异?是哪些因素导致了这些差异?

2) 影响现存地方品种多样性的因素(包括自然的、人为的和作物自身的因素)有哪些?哪些是关键而又容易发生变化的因素?是否可以对这些因素进行控制或调控?

3) 传统上农民的选择和农事活动中如何提高和保持了地方品种的遗传多样性?这种多样性保存和管理的方式是否能在现代农业生态环境中保持下来并得以加强?

4) 在现有的农业生态系统中,农民对地方品种生物多样性的需求如何?生物多样性保护是否有助于农民生活水平的提高?

5) 如何将农民和社区自发的地方品种保护活动与科学家的保护生物学的科学设计相结合,使农业生态系统中地方品种的就地保护更加有效?

6) 如何将农业的发展和农作物地方品种的就地保护有机结合?

只有阐明了农作物地方品种在不同农业生态系统中生物多样性的形成和维持机制,以及决定地方品种多样性的丰富程度及分布规律的关键因素,才能够因地制宜地制定农作物地方品种多样性在农业生态系统中更为有效的就地保护方法。

5 农家保护的新思路

任何生物多样性保护行动如果不考虑长期的经济利益都是很难持久和有效的。作物品种多样性的农家保护这么多年来之所以一直未能取得显著的成效,其关键原因就是未能将生物多样性保护的实际操作很好地与农民的长期切身利益结合起来。许多国际和国家一级的研究项目为了鼓励农民积极开展农家保护活动,对社区和农民都给予一定的经济补贴或是以其他的形式来补偿农民由于保护地方品种多样性而损失的部分经济利益。但是,这种短期的经济利益补偿很难维持长久的生物多样性保护行动。因此在现代农业生态环境下,特别是在农业比较发达的地区,怎样将农业的可持续发展与农业生物多样性的有效和可持续保护有机地结合起来,怎样通过农业生物多样性的积极保护来丰富目前农作物的地方品种的多样性而同时又有助于农民生活水平的提高,这是值得认真研究的科学问题。

朱有勇及其同事通过利用不同水稻品种(地方和杂交品种)的混合间栽模式来控制稻瘟病的实践表明(Zhu *et al.*, 2000),生物多样性的合理布局不仅解决了作物病害的控制问题,同时还提高了水稻单位面积的产量,大大减少了农药和化肥的使用量,改善了农业生态环境,为现代农业生态环境下如何实现可持续生产展示了光明的前景(Wolfe, 2000; Normile, 2000)。这一工作被著名的《Nature》、《Science》等杂志以及世界许多报刊杂志所登载,而且这种水稻品种混合间栽的生产模式已经在云南、四川、贵州等省区达到了数百万亩的种植面积。值得注意的是,由于混合间栽的种植模式需要地方传统水稻品种与杂交水稻品种进行混种,而且在不同的农业生态环境下,不同的自然条件需要不同的地方品种来进行混合间栽,因而对地方传统品种的需求量也不断增加。仅根据我们对云南省44个县的不完全统计资料表明,在混合间栽的农田中,地方水稻品种已从1997年的不到5个达到了2002年的近100个。其中一些在云南省已经消失和趋于濒危的水稻地方品种,如“弥勒香谷”和“黄板锁”等又逐渐回复到了地方农业生态系统。其中10个常用水稻地方品种的种植面积(与主栽杂交稻间栽)已由1997年的不到200亩达到了2002年的近270万亩。水稻地方品种数量不断增加和栽种面积不断扩大的状况

还呈一种上升趋势。这种以生物多样性布局的措施来控制病害的农业生产方式,很好地解决了农作物品种的农家保护未能解决的问题。据统计,农民从每亩稻田的增产中能额外收入百余元,而且还可少施或不施农药,降低了生产成本,改善了农民的生活水平。

我们认为,以生物多样性布局为基础的不同农作物品种的混合间栽模式可能成为水稻地方品种,甚至是其他农作物地方品种农家保护的新方法,因为它既起到了地方品种保护的作用,同时又兼顾了农民的经济利益。生物多样性的合理布局在遗传上增加了种植在同一田块中农作物的异质性,特别是抗病基因的异质性,对于流行病害的发生起到了很好的控制作用(Zhu *et al.*, 2000)。不同高度作物的混合间栽改变了单一品种种植的空间格局,延缓了流行病害的发生和传播速度,提高了不同作物品种对光照、温度和水分的利用效率,降低了传统地方品种的倒伏性,从而提高了主栽和间栽品种单位面积的产量,使农民获益。这就极大地提高了农民种植间作的地方品种的积极性,从而达到了地方品种农家保护的目。对于生物多样性的合理布局是如何控制病害、增加产量和提高肥料利用的机理等一系列科学问题,我们正在进行认真的研究,希望能及早揭示生物多样性合理布局与农家保护的关系。此外,我们利用不同物种,如:小麦-蚕豆、油菜-蚕豆的混合间栽实验也起到了类似水稻地方品种保护的效果(图1)。这种利用生物多样性合理布局的种植生产模式简单易行,便于农民掌握,它不仅能够控制病害,提高产量,减少农药的使用量,改善农业生态环境,还有利于地方品种农家保护的实施,有利于农民生活水平的提高和农业的可持续发展。即便是在现代化的农业生态系统中使用机械化生产的状况下,设计合理的混合间栽模式也可以达到上述目的而不受农业生态环境的影响。因此利用生物多样性来保护农作物生物多样性,是一条农家保护的新途径。对其进行深入的研究,充分发挥这一新的模式在农作物品种,特别是在传统地方品种生物多样性农家保护中的作用,非常有益于农业生物资源的就地保护和可持续利用。

6 结语

农业生物多样性的就地保护即农家保护具有许

多迁地保护不可能取代的优点,也是一种有效和可持续的资源保护方法。但是由于过去农家保护的研究、实践和设计中,虽强调了农民和社区的作用,但没有充分发挥科学家和农业科技人员各方面的积极作用,也未能很好地将作物品种多样性的保护与农民的切身和长远利益以及社会经济的需求有机结合起来,使得农家保护一直处在被动的保护活动中。农家保护的研究也仅局限于小规模的水平,而使农家保护停留在理论探讨的层面而未能在实际的作物品种多样性保护中取得其应有的成绩。

利用生物多样性布局来保护农作物品种多样性,为在不同的农业生态系统中对农作物品种的生物多样性进行农家保护提供了很好的经验和新的思路。农家保护不仅是农民的事也是科学家的事、社会的事,农家保护不应该是一种被动的保护行为,而只能在落后的农村中和农业环境中进行。通过科学家以保护生物学的理论和实际情况为基础并与农民的本土知识相结合的科学设计,农业科技人员和推广人员的大力倡导以及农民的积极实施,把农家保护变成一种主动的、可操作的、与市场需求和农民的长远经济利益紧密联系的农事活动。这样才能使作物品种的农家保护变得有效和可持续,充分发挥农家保护在维持农业生态系统中作物品种生物多样性应有的作用。

参考文献

- 戴小枫,郭予元,倪汉祥,曹雅忠,叶志华,1997. 我国农作物病虫害鼠害成灾特点与对策分析. 科技导报, 1: 42 ~ 45
- 郭辉军, Padoch C, 付永能, 陈爱国, 刀志灵, 2000. 农业生物多样性评价与就地保护. 云南植物研究, XII(增刊): 27 ~ 41
- 卢宝荣, 1998. 稻种遗传资源多样性的开发利用及保护. 生物多样性, 6: 63 ~ 72
- 卢良恕, 1996. 21 世纪的农业和农业科学技术. 科技导报, 12: 1 ~ 8
- Altieri M A and L C Merrick, 1987. *In situ* conservation of crop genetic resources through maintenance of traditional farming systems. *Economic Botany*, 41: 86 ~ 96
- Bellon M R, 1991. The ethnoecology of maize variety management: a case study from Mexico. *Human Ecology*, 19: 389 ~ 418
- Bellon M R, 1997. On-farm conservation as a process: an analysis of its components. In: Sperling L and M Loevisohn (eds.), *Using Diversity-Enhancing and Maintaining Genetic Resources On-Farm*. (<http://www.idrc.ca/library/doc->

- ument/104582) (IDRC 1997)
- Bellon M R and S B Brush, 1994. Keepers of maize in Chiapas, Mexico. *Economic Botany*, **48**: 196 ~ 209
- Bonman J M, G S Khush and R J Nelson, 1992. Breeding rice for resistance to pests. *Annual Review of Phytopathology*, **30**: 507 ~ 528
- Brush S B, 1991. A farmer-based approach to conserving crop germplasm. *Economic Botany*, **45**: 153 ~ 156
- Brush S B, 1992. Ethnoecology, biodiversity and modernization in Andean potato agriculture. *Journal of Ethnobiology*, **12**: 161 ~ 185
- Brush S B, 1995. *In situ* conservation of landraces in centers of crop diversity. *Crop Science*, **35**: 346 ~ 354
- Brush S B, H J Carney and Z Huaman, 1981. Dynamics of Andean potato agriculture. *Economic Botany*, **35**: 70 ~ 88
- Brush S B, J E Taylor and M R Bellon, 1992. Biological diversity and technology adoption in Andean potato agriculture. *Journal of Development Economics*, **39**: 365 ~ 387
- Elias M, D McKey, O Panaud, M C Anstett and T Robert, 2001. Traditional management of cassava morphological and genetic diversity by the conservation of crop genetic resources. *Euphytica*, **120**: 143 ~ 157
- Hammer K, G Laghetti and P Perrino, 1997. Proposal to make the island of Linosa/Italy as a center for on-farm conservation of plant genetic resources. *Genetic Resources and Crop Evolution*, **44**: 127 ~ 135
- Hawkes J G, 1983. *The Diversity of Crop Plants*. Harvard University Press, Cambridge, MA
- Lambert D H, 1985. *Swamp Rice Farming: The Indigenous Pahang Malay Agricultural System*. Westview Press, Boulder and London
- Lando R P and S Mak, 1994. Cambodian farmers decision making in the choice of traditional rainfed lowland rice varieties. IRRI Research Paper Series 154. IRRI, Los Baños
- Maxted N, J G Hawkes, B V Ford-Lloyd and J T Williams, 1997. A practical model for *in situ* genetic conservation. In: Maxted N, B V Ford-Lloyd and J G Hawkes (eds.), *Plant Genetic Conservation—The in situ Approach*. Chapman and Hall, London. New York, Tokyo, Melbourne, Madras, 339 ~ 367
- Nevo E, 1995. Genetic resources of wild emmer, *Triticum dicoccoides*, for wheat improvement: news and views. In: Z S Li and Z Y Xin (eds.), *Proceedings of the 8th International Wheat Genetic Symposium*. China Agricultural Science and Technology Press, Beijing, 79 ~ 87
- Normile D, 2000. Variety spices up Chinese rice yield. *Science*, **289**: 1119 ~ 1120
- Oldfield M L and J B Alcorn, 1987. Conservation of traditional agroecosystems. *BioScience*, **37**: 199 ~ 208
- Pham J L, M R Bellon and M T Jackson, 1996. A research program for on-farm conservation of rice genetic resources. *International Rice Research Notes*, **21**(1): 10 ~ 11
- Piergiovanni A R and G Laghetti, 1999. The common bean landrace from Basilicata (Southern Italy): an example of integrated approach to genetic resources management. *Genetic Resources and Crop Evolution*, **46**: 47 ~ 52
- Plucknett D L, N H J Smith, J T Williams and N M Anishetty, 1987. *Gene Banks and The World's Food*. Princeton University Press, Princeton, NJ
- Prance G T, 1997. The conservation of botanic diversity. In: Maxted N, B V Ford-Lloyd and J G Hawkes (eds.), *Plant Genetic Conservation—The in situ Approach*. Chapman and Hall, London, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, 3 ~ 14
- Qualset C O, A B Damania, A C A Zanatta and S B Brush, 1997. Locally based crop plant conservation. In: Maxted N, B V Ford-Lloyd and J G Hawkes (eds.), *Plant Genetic Conservation—The in situ Approach*. Chapman and Hall, London, New York, Tokyo Melbourne Madras, 160 ~ 175
- Quiros C C, R Ortega, van L Raamsdonk, M Herrera-Montoya, P Cisneros, E Schmidt and B S Brush, 1992. Increase of potato genetic resources in their center of diversity: the role of natural outcrossing and selection by the Andean farmer. *Genetic Resources and Crop Evolution*, **39**: 107 ~ 113
- Shigehisa K, 1982. Genetics and epidemiological modeling of breakdown of plant disease resistance. *Annual Review of Phytopathology*, **20**: 507 ~ 528
- Singh R K, 1999. Genetic resource and the role of international collaboration in rice breeding. *Genome*, **42**: 635 ~ 641
- Swaminathan M S, 1998. Farmer's right and plant genetic resources. *Biotechnology and Development Monitor*, **36**: 6 ~ 9
- Zhu Y Y, H R Chen, J H Fan, Y Y Wang, Y Li, J B Chen, J X Fan, S S Yang, L P Hu, H Leung, T W Mew, P S Teng, Z H Wang and C C Mundt, 2000. Genetic diversity and disease control in rice. *Nature*, **406**: 718 ~ 722
- Zimmerer K S and D S Douches, 1991. Geographical approaches to native crop research and conservation: the partitioning of allelic diversity in Andean potatoes. *Economic Botany*, **45**: 176 ~ 189
- Wolfe M S, 2000. Crop strength through diversity. *Nature*, **406**: 681 ~ 682
- Worede M, 1992. Ethiopian *in situ* conservation. In: N Maxted, B V Ford-Lloyd and J G Hawkes (eds.), *Plant Genetic Conservation—The in situ Approach*. Chapman and Hall, London, New York, Tokyo, Melbourne, Madras, 290 ~ 314
- WRI(世界资源研究所), IUCN(国际自然与自然资源保护联盟), UNDP(联合国环境规划署), 1992, 汪松, 马克平(译), 1993. *全球生物多样性策略*. 北京: 中国标准出版社