

多学科多层次交叉纵深整合改造农业 ——论干旱农业新技术革命

On the New Technical Revolution in Arid Agriculture

王根轩

(兰州大学干旱农业生态国家重点实验室,教授 兰州 730000)

一、整合应用高新技术是农业新技术革命的特点

农业新技术革命是在世界农业面临前所未有的挑战的时候诞生的。近代农业走过了石油农业、杂交育种加化肥、杀虫剂和除草剂几大阶段。在农业增产的同时,也导致了诸如水域富营养化、土壤污染和侵蚀、害虫抗药性等农业生态环境严重恶化的问题。为此,世界各国正在探索如何利用高新技术改造和装备农业。

干旱地区的开发利用是农业新技术革命的题中之意。据联合国粮农组织的分类,发展中国家中有四大农业生态地区:一是灌溉区,其谷物生产占总产的60%,人口10多亿;另外三类分别是干旱、半干旱区、低地地区和丘陵山地,这三类地区的谷物生产占总产的40%,却养活着20亿农业人口。农业的第一次技术革命主要侧重于农业生态条件较好的灌溉和降雨充分的地区,今后农业新技术革命将会更多地关注广大低产田和气候条件恶劣的干旱、半干旱地区农业的发展。

所谓农业新技术革命实质上就是综合利用现代生物、信息等一系列高新技术改造和装备农业,使之实现可持续发展的过程。

在农业新技术革命中,以基因工程为核心的从分子到生态系统各层次的生物技术将起主导作用。生物技术在农业方面具有巨大的应用价值。利用基因工程、细胞工程和基因调节技术可以改变动、植物的遗传性能,改良品种。自1973年美国分子生物学家Cohen实现了试管内DNA分子重组后,接着以细菌质粒为载体构建DNA重组的实验获得重大突破,植物细胞培养技术也得到较大发展。在上述三项进展的基础上,Chilton等在70年代末应用农杆菌Ti质粒将T-DNA的农杆菌基因转入烟草的细胞内,并得到整合与表达。但当时Ti质粒尚未改造,引起冠瘿组织的生长,以致转化细胞无法分化

形成再生植株。后来人们对Ti质粒进行了大量研究和改造,并与细菌质粒构建成嵌合载体,带有特定的选择标记,如卡那霉素抗性基因等。通过这些载体已育成高品质西红柿、烟草等多种有重要商品价值的作物。但这一载体对大多数单子叶植物无效,而重要农作物大都是单子叶植物。为此,80年代以来,开展了多种转化技术的研究,如PEG法、脂质体、显微注射法、电导法、微丝束激光导入法、高速微弹法或基因枪技术等,从而提高了转化效率。

在转基因的受体材料方面,过去认为植物原生质体是接受外源基因的唯一受体,大量的研究表明,胚性愈伤组织和悬浮的胚性细胞也可作为外源基因转化的受体系统,花粉、子房和胚等与生殖功能有关的组织和器官也可接受外源基因的进入。这样,借助于植物受粉时的花粉管通道亦可导入外源基因或DNA,并引起后代的广泛变异,现已从中筛选到大量的变异系或新品种。我国前不久鉴定的重大成果“棉花抗虫新品种”就是通过花粉管通道技术研究成功的。

近年来,以色列科学家已利用生物技术成功地培育出了番茄等作物的耐盐抗旱新品系,其耐盐性可达到在作物的一定生长发育时期进行部分(1/3海水+2/3淡水)海水灌溉,而且可获得特别优质的果实。现在世界上已培育出了适应沙漠和盐碱地生长的洋葱、番茄、西瓜和南瓜等作物新品种。英国科学家已利用生物技术成功地培育出了高Vc番茄。

二、生物高技术只有在多层次交叉整合后才能更有效地解决现代农业问题

国内外专家已分别在生态系统、群落、种群、个体、生理、细胞和分子诸层次上对干旱生态系统水分亏缺规律、作物生长与产量对水分适度亏缺的补偿效应、脱水素、热休克蛋白、钙调蛋白、钾离子通道、与抗逆有关的基因的调控与表达和自由基损伤机制等进行了一些研究,但这种各层次分割的“盲

人摸象”式的研究无法解决这类各层次交互反馈的复杂综合系统问题。从分子到生态系统各层次的纵深整合研究的突破不仅可有效地解决上述一系列干旱农业和生态问题,对占我国一半国土面积的干旱半干旱区的可持续发展产生长远的积极影响,而且可推进整个生命科学从层次分割的局部研究向大融合式纵深整合研究的发展,进而带动科学的整体发展。

有关提高作物抗旱性的研究,国内外在总体状况上呈现宏观、微观“两极分化”的趋势。宏观方向的研究工作以干旱群体生理和干旱农业生态学的发展为代表。形成了干旱生理与环境生态学的交叉和融合。生态思想及研究方法给抗旱生理学研究注入了新的活力。相比而言,以植物逆境分子生物学为代表的面向微观方面的研究发展更快,例如,在由极度干旱等逆境引起的自由基伤害、ABA 依赖的基因表达与调控、钙调素和热休克蛋白的生理功能等方面已取得了不少重要进展。这些方面的研究近年来仍将保持快速发展,并有汇入植物分子生物学的趋势。

作物抗旱生理研究的“两极分化”趋势,在形成学科扩展和外延的积极影响的同时,造成了作物抗旱生理研究的宏微观脱节、干旱分子响应研究与逆境变化规律的研究和经济产量目标脱节的状况。为此,亟待弥合宏微观之间脱节现象,注重作物对干旱响应的整合性研究,组织干旱农业生态、个体生理和分子生物学方面的科学家联合研究,可望对作物抗旱性的重大基础理论问题取得突破和创新。

如果 1966 年 Harris 等证明蛋白质的电泳测定能够用来研究种内遗传变异的水平和描述种群结构可以被认为是分子生态学诞生标志的话,这一学科已走过了 30 年的历程。30 年来,分子生态学在分子技术的应用方面已从蛋白质电泳、同工酶检测发展到直接测定 DNA 序列。但是,诸如生物对逆境的生态适应、竞争等许多生态学问题不能简单地使用这种分子检测方法进行研究,需要建立新的分子生态学研究方法。

超氧化物歧化酶(SODs, EC1. 15. 1. 1)普遍存在于好氧生物。植物衰老过程中叶片 SOD 总活性和叶绿体组分内的相对活性都有所下降。SODs 催化由超氧自由基—氢氧自由基—分子氧的第一步反应。尽管活性氧是正常生理代谢的副产物,但干旱由 NaCl、PEG、缺水和冷冻引起的渗透、干燥、冷害等环境胁迫均可促使活性氧的浓度上升。对这些胁迫的耐受性与植物消除活性氧伤害有关。SOD 活性与消除活性氧伤害的能力有直接关系。本文以干旱生态场效应、小麦 O_2^- 水平和 SOD 基因研究为例,提出分子生态串联研究法,探索如何在分子、细胞、代谢、个体和群体各层次已经取得的丰硕成果的

“桥墩”上,架设起贯通的桥梁,以使生命科学研究取得更大的进展。

分子生态串联研究法的基本要点是把分子、细胞、代谢、个体、群体和群落等从微观到宏观的各个层次串联贯通。这里以小麦干旱生态效应的分子生理生态研究为例提出这一新的研究方法。干旱胁迫在使根系吸水难度增大的同时,使水分生态因子场在植株根系分布区的强度变弱。干旱胁迫程度的增加引起超氧自由基(O_2^-)含量和细胞膜损伤的增加,细胞质 Cu/ZnSOD(P31)mRNA 的丰度和 SOD 酶活性也相应地显著增加。抗旱性较强的品种受干旱胁迫时水分生态因子场的强度、产量、SOD 的基因表达和酶活性都较高, (O_2^-) 含量和电解质渗漏上升的幅度较低。培育具有较高消除自由基伤害能力的小麦品系是在干旱条件下提高作物产量的有效途径之一。

三、生物技术的多层次纵深整合研究

生物技术的多层次纵深整合,主要是从分子、生理到生态的整合。分子生理和生态的纵深整合研究的基本研究思路是:(1)引入“系统”思想,采用将逆境时空动态、作物个体与群体响应、代谢生理直至分子生理串联交叉的研究方法,克服作物抗逆生理在总体上宏观与微观脱节、机理与研究目标脱节的现象;(2)从整合和动态的观点深入研究作物生理生态指标,代谢和分子基础对逆境响应的进化适应与人工选择间的差异和矛盾(诸如生长冗余、人工选择过程中的光合效率损失和部分光合途径基因表达的抑制等);(3)在农业生产的实际需要中寻找基础理论研究的制高点,有重点地深入研究使作物在逆境条件下高产、高效的重要生理基础问题。

1. 提高作物抗旱性的多层次纵深整合研究

鉴于我们的思想已习惯于把有关科学和技术按层次划分成越来越小的学科,这种在农业研究和农业新技术革命中的纵深整合研究不容易被理解。现以一项旨在确定某基因是否与作物的抗旱性和产量有关的研究为例加以说明。

(1)分子生理生态系列串联 分子生态串联研究法是利用分子生物学的成果和技术研究和解决生态学问题的一种研究方法。要想准确地将某一生态学问题同其分子过程相联系,使用这种方法是十分必要的。本研究法的理论基础是基于如下的自然规律:所有基因只有在一定生态环境下适当地转录和翻译,并使其翻译产物在代谢和/或结构组建中发挥作用,通过个体和群体间的相互作用,才能起到一定的生态功能。所以就总体而言,分子生态学不应、也不可能跨过细胞和代谢水平,而应该将分子—细胞—代谢—生态(个体、群体、群落、生态系

统)串联起来进行研究(图 1)。

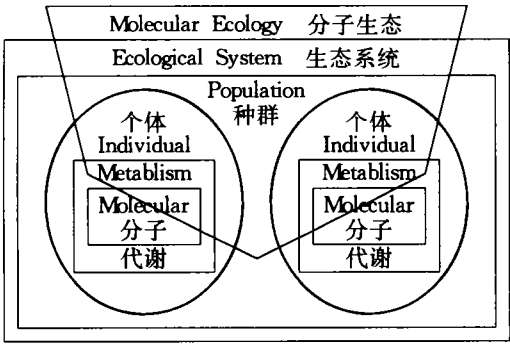


图 1 分子—生理—生态系列串联示意图

(2)分子生理生态串联设计示例 利用分子生理生态串联法对小麦抗旱生态场效应、O⁻水平和 SOD 基因表达之间的关系进行的串联设计(见表 1)。

表 1 利用分子生态串联法进行的串联设计
小麦抗旱生态场效应, O⁻水平和 SOD 基因表达之间的关系

串联层次	生态环境	群体	个体	代谢	细胞	基因
处理和测定指标	对照和轻、中、重干旱胁迫	产量、群体水分因子场空间分布	相对含水量(RWC)	1. O ⁻ 含量 2. SOD酶活性	细胞膜损伤(电解质渗漏)	Cu/ZnSOD 基因(P31) 相对转录水平

分别选用抗旱性强(甘抗)和弱(甘麦 8 号)的小麦(*Triticum aestivum*. L.), 采用本实验室的植物生长箱系统(PGV125L, 加拿大)培养植物材料, 以保证研究工作在全年全天候进行。干旱胁迫系数的测定参照 Perl—Treves and Galun(1991)的方法进行。受胁迫植物的水分状态使用相对含水量(RWC)表示($100 \frac{W_{ac.1} - W_{dr.1}}{W_{hydrated} - W_{dr.1}}$), 叶片取样和称重($W_{ac.1}$, 实际重量)后, 在蒸馏水内浸泡 20h, 吸干表面水并称重($W_{hydrated}$, 复水重量)。然后, 在烘箱内 70℃ 烘干过夜以测定干重($W_{dr.1}$)。电解质从叶园片中的渗漏量和 O⁻水平的测定按照 Malan 等(1990)的方法进行。SOD 基因表达的测定按照 Perl—Treves and Galun(1991)的方法进行。

(3)由纵深整合研究得知了 P31 基因与春小麦群体生态指标和产量各层次之间的内在关系 春小麦根系吸水引起土壤含水量的下降, 主要分布在根系分布区及其周围。随着立地距离的加大, 这种影响迅速减弱。在非胁迫条件下, 抗旱性强的品种的 P31 基因的相对转录水平和 SOD 相对活性都稍高于抗旱性弱的品种, 而 O⁻相对含量和产量则稍低于抗旱性弱的品种, 说明在一般条件下较高的清

除超氧自由基的能力反而会使作物的产量降低。细胞膜损伤程度和清除超氧自由基的能力随干旱胁迫程度增加而增加。就同一品种而言, 干旱胁迫程度的增加引起超氧自由基(O⁻)含量的增加, 超氧自由基(O⁻)造成的细胞膜损伤增加了电解质的渗漏。与此相伴, 细胞质 Cu/ZnSOD(P31)mRNA 的丰度和 SOD 酶活性显著增加, 作物产量降低的幅度增大。

抗旱性强的品种在干旱胁迫条件下具有较高的清除超氧自由基、抗御膜损伤的能力和产量。抗旱性强的品种与抗旱性弱的品种之间比较, 随着干旱胁迫程度的增加, 前者的细胞质 Cu/Zn SOD(P31)mRNA 的丰度和 SOD 酶活性比后者增高的幅度加大, 前者的超氧自由基(O⁻)含量和电解质的渗漏量比后者降低的幅度加大。前者的产量逐步超过了后者。说明在干旱条件下, 较高的清除超氧自由基的能力可以有效地减轻细胞和组织的损伤, 提高作物的产量。

2. 多层次纵深整合研究的优点

在以往的有关研究中, 群体生态或生理的研究一般是在田间测定产量、群体指标、土壤和大气因子, 最多再测定一些生理和酶学指标(Hsiao, 1973); 分子方面的研究一般至多与一些酶学和生理指标相联系(Blum et al., 1992), 造成微观方面的研究脱离大田实际的现象。串联研究可以解决这种宏观微观脱节的问题。以上结果表明, 干旱胁迫使小麦的水分生态因子场的空间分布规律发生变化的主要部分是根系相对吸水量(Ewo)的显著减小, 从而引起植株相对含水量下降。水分亏缺引起超氧自由基(O⁻)含量的增加, 超氧自由基(O⁻)导致细胞膜损伤(电解质外渗量增加)。抗旱性强的春小麦在干旱胁迫条件下 Cu/ZnSOD(P31)基因的高效表达使它具有较高的清除超氧自由基(O⁻)、保护细胞膜免受损伤的能力, 从而具有较高的产量。这意味着提高 Cu/Zn SOD(P31) 基因的表达水平可提高作物的抗旱性和产量。这种研究方法的主要缺点是, 由于各个层次的工作量相对较大, 一般需要针对某一问题采取单点深入式的研究。

宏观微观之间的串联有利于人类对生命现象的完整理解。现代生物学被划分为分子、细胞、个体、种群等不同层次进行研究。这种分割式的研究方法有利于学者们集中精力在一个层面上深入探索, 对现代生物学的发展起到了巨大的作用。然而, 每种生物都是处在一定生态环境下的从群体、个体、代谢乃至分子水平的统一体, 各层次相对分割的研究方法无法满足对生命统一体的完整的科学理解。这种“盲人摸象”式的研究方法造成了学科间, 尤其是在宏观和微观学科之间不同程度的“相

(下转第 21 页)

前面已经提到,农田生态系统的最大特点是,它的结构和功能取决于人类的需要。同样,它的生物多样性的构成也不能像自然生态系统那样,完全按照自然的规律去发展,而是要受人类需求的支配。由此,也就引出了农田生态系统中生物多样性设计的问题,即通过人工的引种和培育的手段,根据增加有益因素、抑制有害因素的指导思想,构建农田生态系统中的生物多样性。

农田生态系统的生物多样性设计的目的是为了获取更大的经济与环境效益。它既包括了直接从农田生态系统自身获得的效益,也包括农田生态系统给毗邻的自然和城市生态系统带来的间接效益。

生物资源的持续利用是农田生态系统生物多样性设计应遵循的重要原则。持续利用包括生物资源提供的经济、环境和社会等方面的利用价值。

利用物种之间共存互惠关系与自克、他克作用关系,或利用能流食物链关系进行切断或增加食物链,对生态系统的组分进行重新组装,是生物多样性设计的主要手段。通过这一方法,可以调整系统的组分与结构,以便增加物种的多样性,维持系统的稳定,增加或增强系统的功能^[9]。

景观格局的设计是农田生态系统生物多样性设计的主要内容。景观的异质性可以降低稀有的内部种的丰富度,增加需要两个或两个以上景观要素的边缘种的丰富度^[10]。利用这个特性,可以通过调整景观的异质性,改变物种的构成。在农田生态系统中,作为廊道的树篱,对动物群落尤其重要,在农业景观中动物区系大部分可在树篱中看到^[11]。设计好树篱的位置、宽度既可以为益鸟和益兽提供栖息的条件,又可以在自然和城市生态系统之间,为野生动物在两地间迁移提供一条通道。这对于保护野生动物、提高城市的生物多样性程度都是有益的。

由于农田生态系统的特殊性,其中的生物多样性的构成和物种的种群密度应该以既不影响农作物的生长和管理,又能保证一定的经济、环境和社会效益为出发点。这就是农田生态系统生物多样性设计的“适合度”的问题^[12]。针对具体的系统,确定适合度,将是生物多样性设计的核心。

(上接第 33 页)

省市也出台了一些激励企业技术进步的政策和措施,企业改制后各级政府要一视同仁地继续有效地推动这些政策措施的落实。同时,还需要进一步研究采取一些配套措施,比如实行税收倾斜,减少企业运用新技术的投资风险;增加贷款支持,保障企业拥有开发研究的资金;进一步保护新技术的推广和运用,等等。还要积极为改制企业提供技术、信息咨询等各项服务工作。(责任编辑 王宏章)

研究农田生态系统中的生物多样性问题,不但使人们可以从一个新的角度来认识和探讨其中的有关问题,而且也为生物多样性的理论提供了更直接地服务于人类发展的机会。农田生态系统中生物多样性资源的持续利用和农田生态系统中生物多样性的设计都将是新的研究领域,并且将有着广阔的应用前景。随着生态农业的日益兴盛和人们对农田生态系统的生态作用认识的日益深入,特别是当人类的眼光逐渐从区域生态系统转向全球生态系统时,农田生态系统中的生物多样性问题将会成为新的研究热点。

参考文献

- [1]中国科学院生物多样性委员会,生物多样性研究的原理与方法,1994,北京:中国科学技术出版社
- [2]陈灵芝,中国生物多样性——现状与保护对策,1993,科学出版社
- [3]李典谟等,华北黑龙港棉区病虫害综合治理体系研究,棉花病虫害综合防治及研究进展,1990,中国农业科技出版社,P20~26
- [4]史车仇,朱鹮的食性资源和游荡期的食物丰度,西北大学学报,1991(21)
- [5]李保国等,朱鹮在陕西地理分布的变迁,生态学杂志,1992,11(5)
- [6]管致和,害虫防治研究中的生物学倾向,植保参考,1989(14)
- [7]丁岩钦,论害虫种群的生态控制,生态学报,1993,13(2)
- [8]席承藩,推行复合农林业促进种植业发展,当代复合农林业,1993(1)
- [9]郭中伟等,生态工程中食物链组合的环分析,生态学报,1993,13(4)
- [10]Forman, R., M. Godron, Landscape Ecology. John Wiley & Sons.
- [11]陈灵芝,生物多样性保护现状以及对策,生物多样性研究的原理与方法,1994,北京:中国科学技术出版社
- [12]Guo Zhongwei, Strategy of Sustainable Use of Biological Resources, CHINESE BIODIVERSITY, 1995, Vol3. (supp) pp79-86 (责任编辑 肖庆山)

(上接第 42 页)

轻”现象。而串联研究的发展将不仅有助于宏观微观学科间的交叉和理解,还将对生物体从分子到群落的完整的科学理解作出一定的贡献。需要指出,作者并没有认为每一项研究必须涉及由宏观到微观各个层次的意思,更不意味着这种研究可以囊括诸层次的所有研究领域。

(注:删去外文 14 篇、中文 4 篇参考文献,需者请与作者联系)(责任编辑 孙立明)