

人工创造植物无融合生殖的研究进展*

马三梅^{1,2}, 王永飞², 叶秀¹, 赵南先¹, 梁承邨¹

(1 中国科学院华南植物研究所, 广东 广州 510650; 2 烟台师范学院 生物系, 山东 烟台 264025)

[摘要] 对人工创造植物无融合生殖的各种途径进行了总结, 对创造植物无融合生殖的方法进行了比较分析, 认为植物体细胞杂交法是目前最好的选择。提出了两种用生物工程技术创造植物无融合生殖方法的设想, 并对其应用前景进行了展望。

[关键词] 植物; 无融合生殖; 种质资源

[中图分类号] Q 944.47

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2002)05-0131-05

植物无融合生殖最早是由 John Smith 于 1841 年在 *A. lchornea ilifolia* (即 *Coelebogoyne ilicifolia*) 中发现的。根据无性幼胚起源细胞发生的部位和幼胚的发育方式, 植物无融合生殖可分为无孢子生殖、二倍体孢子生殖、不定胚生殖和单性生殖四种类型, 其中, 单性生殖包括孤雌生殖和雄核发育等。近几年把无融合生殖基因转入作物已成为研究的热点^[1,2], 以期把无融合生殖基因转入作物中, 以达到固定杂种优势的目的。本研究对创造植物无融合生殖种质资源的研究进展进行综述。

1 人工创造植物无融合生殖的途径

目前, 人工创造植物无融合生殖种质资源的主要途径有常规杂交、组织培养、体细胞杂交、射线和化学药剂处理及染色体人工加倍等。

1.1 利用常规杂交法获得植物无融合生殖

利用常规杂交法获得植物无融合生殖的方法可以分为两大类, 一类为与有亲缘关系的无融合生殖植物杂交; 另一类为与有亲缘关系的非无融合生殖植物杂交。

1.1.1 与有亲缘关系的无融合生殖植物杂交 人们利用无融合生殖的野生种和栽培作物进行杂交, 达到把无融合生殖基因转入到栽培作物的目的。由于专性无融合生殖植株作母本时, 杂交不易成功, 所以一般利用具有无融合生殖特性的植物做父本, 与其他品种或植物杂交, 将无融合生殖特性传递给后代^[3]。迄今为止, 已在玉米、珍珠粟等作物上取得了

一定的进展。下面以创造的植物无融合生殖的不同类型为依据, 进行详细介绍。

(1) 二倍体孢子生殖基因的导入。Leblanc 等^[4]在二倍体玉米 ($2n=20$) 和摩擦禾的杂交研究中发现: 二倍体孢子生殖和多倍体并不是紧密连锁的, 可以将摩擦禾的二倍体孢子生殖基因转入到二倍体玉米中。从而也为作物可以在二倍体水平进行无融合生殖提供了理论依据。Kindger 等^[5]用四倍体玉米与其无融合生殖的近缘野生种摩擦禾 (*T. ripisacum dactyloides*) ($2n=4x=72$) 杂交, 获得 F_1 ($2n=56, 36$ 条摩擦禾的染色体和 20 条玉米的染色体), F_1 表现无融合生殖。而后用二倍体玉米授粉, 获得 38 条染色体的杂种 (18 条摩擦禾的染色体和 20 条玉米的染色体), 性状接近玉米。又继续回交, 获得了含有 9 条摩擦禾染色体和 30 条玉米染色体的无融合生殖杂种, 这说明随着世代的延续, 最后有可能将无融合生殖转育到二倍体玉米中。Sokolov 等^[6]对含有 20 条玉米染色体和 18 条摩擦禾的杂种, 进行 20 多代的研究, 结果发现该杂种以无融合生殖方式进行稳定的遗传; 另外对含有 30 条玉米染色体和 9 条摩擦禾染色体的杂种进行研究, 结果发现这样的杂种也进行无融合生殖。这就充分说明摩擦禾的无融合生殖基因在玉米的细胞质中可以表达, 通过属间杂交可以把无融合生殖基因转入玉米中。Garcia 等^[7]把四倍体玉米 ($2n=4x=40$) 和摩擦禾 (*T. dactyloides*, $2n=72$) 杂交, 得到的 F_1 ($2n=56$) 的花粉是完全不育的, 用玉米 (*Zea mays*, $2n=20$ 或 40)、*Z. Perennis*

* [收稿日期] 2001-09-07

[基金项目] 国家自然科学基金项目 (3970086); 中国科学院“九五”重大项目 (K2952S1-112); 烟台师范学院博士科研启动基金项目 (200130)

[作者简介] 马三梅 (1971-), 女, 河南平顶山人, 副教授, 博士, 主要从事植物生殖生物学研究。

($2n=40$)、*Z. diploperennis* ($2n=20$) 的花粉授粉, 得到后代, 然后进行等位酶分析, 结果发现后代进行无融合生殖。Kindger 等^[8]把摩擦禾 16 号染色体长臂上的含有无融合生殖基因的片段转入玉米 6 号染色体的长臂, 得到一个带有易位染色体的玉米品系, 该品系为玉米的无融合生殖育种提供了材料。

普通小麦与披碱草 (*Elymus rectisetus*) 杂交得到了少量的 F_1 杂种, 其染色体数目 $2n=42$, 表现出专性二倍体孢子生殖的特性^[9]。

Albertini^[10]用紫花苜蓿 (*Alfalfa*) 和进行二倍体孢子生殖的四倍体 *M. coerulea* 杂交, 连续回交, 发现 BC_1 进行二倍体孢子生殖的频率是 5.04% ~ 40.96%, 并且利用 PCR 分析可以区分无融合生殖和有性生殖的后代。

(2) 无孢子生殖基因的导入。Hanna 等^[11]用珍珠粟 (*P. glaucum*) 和非洲狼尾草 (*P. squamulatum*) 杂交, 连续回交, 发现杂种可以进行专性无融合生殖, 而且结实率逐代升高, 在 BC_5 中染色体数目恢复到珍珠粟的水平。Atkinson 等^[12]在 *Paspalum pubiflorum* 和 *Uruguayan dallisgrass* 的杂种 F_1 中发现有无孢子生殖的胚囊, 表明 *Uruguayan dallisgrass* 的无融合生殖基因已经转入到杂种 F_1 。四倍体的 *Paspalum malacophyllum* ($2n=4x=40$) 进行兼性无孢子生殖, Burson 等^[13]把二倍体 *P. juergensii* 和四倍体 *P. malacophyllum* 杂交, 得到的杂种是三倍体, *P. dilatatum* 和 *P. malacophyllum* 杂交得到的杂种是四倍体, 结果发现这些杂种都进行兼性无融合生殖。说明 *Paspalum malacophyllum* 的无融合生殖基因可以传递给后代。Nassar 等^[14]对 *Manihot neusana*、木薯以及两者种间杂种 F_1 的胚胎学进行研究, 发现 *Manihot neusana* 和杂种 F_2 代进行兼性无孢子生殖, 而在木薯和杂种 F_1 代中没有发现无融合生殖的植株。说明通过杂交可以把无孢子生殖基因转入木薯中。

(3) 孤雌生殖基因的导入。玉米品系的 AT1、AT3 具有孤雌生殖的特性, Tymov 等^[15]和 Enaleeva 等^[16]把 AT1 玉米和常规玉米品种杂交, 发现正反交的后代均具有无融合生殖的特性, 说明细胞质对孤雌生殖的表达没有影响, 可以通过杂交把无融合生殖基因转入玉米中。

1.1.2 与有亲缘关系的非无融合生殖植物杂交研究发现, 与有亲缘关系的非无融合生殖植物杂交, 也可诱导产生无融合生殖, 具体诱导的植物无融合生殖类型如下。

(1) 二倍体孢子生殖的诱导。郭德栋等^[17]通过栽培甜菜和白花甜菜杂交, 获得的杂种和栽培甜菜进行回交, 合成了异源三倍体甜菜, 它具有二倍体孢子生殖的特性。说明把白花甜菜 1 个染色体组导入栽培甜菜, 可以得到能通过无融合生殖而稳定遗传的异源三倍体。

(2) 孤雌生殖的诱导。Matzk 等^[18]把粘果山羊草 (*Aegilops kotschyi*)、尾状山羊草 (*Aegilops caudata*) 和“莎尔蒙”(Salmon) 小麦杂交后, 连续回交, 得到的雄性不育系具有无融合生殖的特性。K 型 V 型小麦雄性不育系可以进行无融合生殖, 他们和恢复系、保持系杂交后, 后代中可以产生单倍体。张改生等^[19, 20]的研究结果表明, K、V 型不育系产生单倍体是由于异源细胞质与 IBL/IRS 染色体中 IRS 片段的互作, 使减数分裂过程中配对松弛的染色体提前分离, 卵细胞提前成熟, 失去了受精的能力, 从而形成了单倍体胚, 并且诱导单倍体的频率高低直接与 IBL/IRS 的易位片段大小相关。Mueeb 等^[21]发现, 小麦和 *Leymus racemosus*、*Thinopyrum elongatum* (即 *Elymus elongatus*) 的杂交后代具有孤雌生殖的特性。

(3) 机制不详的无融合生殖的诱导。Marais 等^[22]在 *Thinopyrum distichum* 和黑麦 *Secale cereale* 的杂交研究中发现, 用二倍体黑麦做父本时, 没有得到种子, 用四倍体黑麦做父本时, 获得了杂种 F_1 ($2n=28$)、 F_2 ($2n=20\sim 22$) 具有无融合生殖的特性, 而且母本的染色体在无融合生殖的过程中逐渐消失, 仅有黑麦的染色体存在。

Prakash 等^[23]用二倍体 *Coffea canephora* 和六倍体 *Coffea arabica* 进行正反交, 六倍体作母本杂交产生了四倍体的后代; 而二倍体作母本杂交产生了二倍体的后代, 该二倍体杂种生长正常, 可以开花结实, 说明种间杂交可以诱导无融合生殖。

Dolmatov 等^[24]用 *Pyrus communis* 作母本和 *Chaenomeles japonica*、苹果 (*Malus pumila*) 杂交, 得到了杂交植株, 除了正常的 F_1 杂种外, 还有无融合生殖植株出现。

1.2 栽培作物人工加倍后获得无融合生殖

有些植物随着染色体倍数的增加, 进行无融合生殖的倾向也随着提高。很多植物在二倍体进行有性生殖或者兼性无融合生殖, 在三倍体和四倍体则表现出很高程度的无融合生殖, 并趋向专性。例如 *Paspalum compressifolium* 的二倍体进行有性生殖, 而四倍体和六倍体则进行无孢子生殖^[25]。黎垣庆

等^[26]对具有二倍体孢子生殖特性的水稻品系“PDER”用秋水仙素进行加倍,得到了四倍体“PDER-2B”,用该四倍体作为母本和自然突变的四倍体杂交,结果发现杂交种的大孢子母细胞没有胼胝质或只在靠近珠孔端的细胞壁有胼胝质,由此推断该杂种可能具有二倍体孢子生殖的特性,目前正在进行细胞胚胎学和遗传学观察的进一步验证。Tsvetova等^[27]对 *Sorghum bicolor* 和 *S. subglabrescens* 进行加倍,加倍后2个品种发生无融合生殖的频率增加。黄群策等^[28]用水稻多胚苗“双三”等二倍体材料,人工诱导出性状稳定的同源四倍体,以期在多倍体水稻中能够筛选无融合生殖的种质资源。从目前的研究结果看,虽然人工加倍获得的多倍体多数不能进行稳定的无融合生殖,但是在染色体数目加倍后再进行适当改造,也许是一种获得植物无融合生殖的有效手段。

1.3 其他方法

除了以上常用的方法外,人工创造无融合生殖的方法还有以下几种。

(1) 利用植物组织培养获得无融合生殖的突变体。例如 Enaleeva 等^[29]在高粱的组织培养得到了1个“A S-1”株系,该株系表现雄性半不育,且进行无孢子生殖,其自交4代(R_4)到自交7代(R_7)进行无融合生殖的频率分别是8%, 11.5%, 24.5%和35.7%,表明通过组织培养可以得到无融合生殖的突变体,并且进行选择后可以提高其无融合生殖的频率。

(2) 利用植物体细胞杂交法获得无融合生殖。利用原生体融合技术将远缘物种所具有无融合生殖特性转移到作物中,可以克服种间或属间杂交的不亲和性,从而获得新的植物无融合生殖种质资源。辛化伟等^[30]将水稻悬浮细胞分离出来的原生质体和大黍的原生质体经PEG或电融合处理后,获得的杂种细胞能进行持续的分裂,而且形成愈伤组织,并分化出完整的再生植株,该再生植株具有无孢子生殖的特性。

(3) 利用射线、化学药剂处理法获得植物无融合生殖突变体。例如赵凤梧等^[31,32]利用 γ 射线处理小麦,得到了1个突变体“HS131”,该突变体花粉不育,套袋后可结实,表明该突变体具有孤雌生殖特性,并且其 F_2 的分离比例为3:1或13:3,说明该突变体的孤雌生殖特性是由1对或2对基因控制的。孙耀中等^[33]用炔诺酮、甲地孕酮、乙烯雌酚和马来酰肼等药物处理太谷核不育小麦和矮败小麦,结

果发现两者经处理后均可进行孤雌生殖,而且太谷核不育小麦诱导结实率高于矮败小麦;并且炔诺酮、甲地孕酮、乙烯雌酚的诱导结实率均超过马来酰肼的诱导效果。

2 各种方法的优缺点比较

对多数植物来说,利用组织培养、射线和化学药物处理法诱导无融合生殖突变体的工作量很大,常常很难获得植物无融合生殖突变体,因而在实际研究中这些方法的应用并不多见。创造植物无融合生殖的最切实可行的方案是利用常规杂交法从近缘野生种的无融合生殖基因引进植物。具体的方法是以栽培品种作母本,以无融合生殖野生种作父本进行杂交,杂交后代中会出现无融合生殖植株与有性生殖植株的分离;再以无融合生殖植株作父本与栽培种进行回交,从回交或自交后代中分离的无融合生殖植株继续作父本和栽培种进行回交,直至野生种中除与无融合生殖有关的基因之外全部遗传成分都被栽培种取代为止,基因转移工作才算完成。这可能是许多栽培植物获得无融合生殖基因的一条首选途径。但由于该方法需要进行种间或属间杂交,所需的工作量大,费时费力,周期长,目前仅得到了一些具有无融合生殖特性的品系,在育种实践中还没有得到真正的应用。

另外一条可行的途径为染色体加倍法,该法尤其对具有兼性无融合生殖特性的二倍体野生种更有效,染色体加倍后无融合生殖的频率会得到很大的提高,因此该法引起研究者的浓厚兴趣,但对于进行有性生殖的二倍体作物来说,染色体加倍后是否也会象野生种一样,无融合生殖的频率会得到很大的提高,这还需要进一步的深入研究。

体细胞杂交技术能够克服远缘杂交之间的遗传或生理障碍,从而实现远缘物种的染色体交换和导入,进而改良植物的遗传性状。因此对于远缘杂交很难成功的物种来说,利用植物体细胞杂交法获得无融合生殖,无疑是一条十分有效的途径。但体细胞杂交法对导入的染色体无法控制,因此具有一定的盲目性和机遇性。

3 展望

近年来,由于RAPD、RFLP和差异显示等技术的应用,已使植物无融合生殖的研究面貌为之一新,特别是一系列与无融合生殖有关的特异片段的发现,为了解植物无融合生殖的遗传机理和分子机理

增加了大量的新知识,这些知识无疑为定位和克隆植物无融合生殖基因及利用遗传操作的手段来改变植物的生殖方式积累了必要的理论基础。今后非常有希望的两种利用生物工程创造植物无融合生殖的方法为:

1) 直接对含带有无融合生殖基因野生种的染色体进行显微切割、分离和DNA扩增,以构建具有无融合生殖基因的特异性DNA文库,然后和植物原生质体融合,从而达到把无融合生殖基因定向导入植物原生质体的目的。

2) 利用分子生物学的手段分离、克隆植物无融合生殖基因,构建无融合生殖的表达载体,筛选良好的受体细胞系统,运用适当的转化技术,把无融合生殖基因转入植物,得到具有无融合生殖特性的新品系,为利用无融合生殖固定杂种优势提供新的种质资源。

应当深信,通过上述的各种方法来创造新的植物无融合生殖种质资源,必将加快农业无融合生殖革命的步伐,为更快固定杂种优势奠定坚实的理论基础。

[参考文献]

- [1] Czupik R. Apomixis in monocotyledons[A]. Jacobs S W L, Everett J. Grasses systematics and evolution[C]. Melbourne: CSIRO press, 2000. 316- 321.
- [2] Hanna W, Ozias-Akins P, Roche D. Apomixis and heterosis[J]. American Society of Agronomy, 1999, 59: 335- 342.
- [3] 孟金陵. 植物生殖遗传学[M]. 北京: 科学出版社, 1995. 109- 139.
- [4] Leblanc O, Grinanelli D, Alam-Faridi N, et al. Reproductive behavior in maize-*T. ripisacum* polyploid plants: implications for the transfer of apomixis into maize[J]. Journal of Heredity, 1996, 87(2): 108- 111.
- [5] Kindger B, Sokolov V A, Khatypova IV. Evaluation of apomictic reproduction in a set of 39 chromosome maize-*T. ripisacum* backcross hybrids[J]. Crop Science, 1996, 36(5): 1108- 1113.
- [6] Sokolov V A, Kindger B, Khatypova IV. Investigation of apomictic maize-*T. ripisacum* hybrids[J]. Genetika (Moskva), 1998, 34(4): 492- 498.
- [7] Garcia M D, Bonamico N, Renzo M A D, et al. Genetic variation in the progeny of maize-*T. ripisacum* hybrids[J]. Maize Genetic Cooperation New sletter, 2000, 74: 40- 41.
- [8] Li Y G, Kindger B. Plant regeneration from somatic culture of apomictic maize-*T. ripisacum* hybrids[J]. Maize Genetics Cooperation New sletter, 1998, 72: 84- 85.
- [9] Loeve A, Connor P M D, Caman J G. Meiotic anomalies in hybrids between wheat and apomictic *Elymus rectisetus* (Nees in Lohm.) [J]. Crop Science, 1997, 37(3): 717- 723.
- [10] Albertini E, Barcaccia G, Veronesi F. Parthenogenesis induction in diplosporic tetraploidized alfalfa[A]. Barcaccia G. L. Ulerne and medicis for the XXI century[C]. Italy: Perugia Press, 1999. 13- 16.
- [11] Hanna W W, Ozias-Akins P, Roche D. Development of apomictic pearl millet[J]. International Sorghum and Millet New sletter, 1998, 39: 124.
- [12] Atkinson J M, Burson B L. Cytogenetic relationships between *Paspalum pubiflorum* and three south american paspalum species[J]. International Journal of Plant Sciences, 1999, 160(4): 775- 781.
- [13] Burson B L, Hussey M A. Cytology of *Paspalum malacophyllum* and its relation to *P. juergensii* and *P. dilatatum* [J]. International Journal of Plant Sciences, 1998, 159(1): 153- 159.
- [14] Nassar R M A, Santos, E D, David S R O. The transfer of apomixis genes from *M. anihot neusana* Nassar to cassava (*M. esculenta* Crantz) [J]. Hereditas (Landskrona), 2000, 132(2): 167- 170.
- [15] Tyrnov V S. Producing of parthenogenetic forms of maize[J]. Maize Genetics Cooperation New sletter, 1997, 71: 73- 74.
- [16] Enaleeva N C, Tyrnov V S. Cytological manifestation of apomixis in AT-1 plants of corn[J]. Maize Genetics Cooperation New sletter, 1997, 71: 74- 75.
- [17] 郭德栋, 康传红, 刘丽萍, 等. 异源三倍体甜菜(VVC)无融合生殖的研究[J]. 中国农业科学, 1999, 32(4): 1- 5.
- [18] Matzk F. The Salmon system of wheat—a suitable model for apomixis research[J]. Hereditas (Landskrona), 1996, 125(2/3): 299- 301.
- [19] 张改生. 粘、易型 1B/1R 小麦雄性不育系产生单倍体的遗传机理及育性恢复性能的研究[J]. 遗传学报, 1992, 19(3): 266- 277.
- [20] 张改生, 马三梅, 王小利, 等. 几类异质 1B/1RS 小麦雄性不育系诱导孤雌生殖性的研究[J]. 西北植物学报, 1999, 19(6): 1- 9.
- [21] Mueeb K A. Apomixis in trigeneric hybrids of *T. riticum aestivum* / *L. ymus racemosus* // *Thinopyrum elongatum* [J]. Cytologia, 1996, 61(1): 15- 18.
- [22] Marais G F, Marais A S, Badenhorst P C. Hybridization of *Thinopyrum distichum* and *Secale cereale* [J]. Plant Breeding, 1998, 117(2): 107- 111.

- [23] Prakash N S, Jyothi D P, Mishra M K, et al Apomixis tendency in diploid X hexaploid crosses of coffee[A]. Mishra M K. Developments in plantation crops research[C]. India: Kottayam Press, 1996 27- 29
- [24] Dolmatov E A, Sedov E N, Panova N I, et al Studing the morphological of the apomictic progeny of the pear[J]. Russian Agricultural Sciences, 1998, 7: 16- 18
- [25] Quarin C L, Pozzobon M T, Valls J F M. Cytology and reproductive behavior of diploid, tetraploid and hexaploid gemplasm accessions of a wild forage grass: *Paspalum compressifolium* [J]. Euphytica, 1996, 90(3): 345- 349
- [26] 黎垣庆, 许秋生 通过多倍化提高水稻无融合生殖发生频率的研究[J]. 中国学术期刊文摘(科技快报), 1999, 5(11): 1491- 1492
- [27] Tsvetova M I, Belyaeva E V, Enaleeva N K. Intensification of tendency to apomixis in sorghum autotetraploids[J]. International Sorghum and Millets Newsletter, 1998, 39: 66- 67.
- [28] 黄群策, 孙敬三, 白素兰 同源四倍体水稻的生殖特性研究[J]. 中国农业科学, 1999, 32(2): 14- 17.
- [29] Enaleeva N K, Belayeva E V, Elkonin L A. Selection for high frequency of aposporous structures in *Sorghum* [J]. International Sorghum and Millets Newsletter, 1996, 37: 67- 68
- [30] 辛化伟, 孙敬三, 颜秋生, 等 水稻与大黍不对称体细胞杂交再生植株[J]. 植物学报, 1997, 39(7): 717- 724
- [31] 赵凤梧, 李会敏, 李洪武, 等 孤雌生殖的小麦 94-706[J]. 作物遗传资源, 1995, (3): 56- 57.
- [32] 赵凤梧, 李会敏 冬小麦 HS131 后代的分离比[J]. 小麦信息服务, 1996, (82): 24- 28
- [33] 孙耀中, 董洪平. 在隔离区用药物诱导显性核不育小麦孤雌生殖的研究[J]. 华北农学报, 1995, 10(1): 11- 16

Progress on transferring apomixis to crop plants and induction of apomixis

MA San-mei^{1,2}, WANG Yong-fei², YE Xiu-lin¹,
ZHAO Nan-xian¹, LIANG Cheng-ye¹

(1 South China Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou, Guangdong 510650, China;

2 Department of Biology, Yantai Normal University, Yantai, Shandong 264025, China)

Abstract: The current progress on the induction of apomixis is reviewed. The relative advantages of or disadvantages of the inducing procedures presented here are discussed. Somatic hybridization may be the best way for induction of apomixis. The two methods for breeding apomictic crops through biotechnology are outlined. Future prospects for induction of apomixis are discussed.

Key words: plant; apomixis; gemplasm

欢迎订阅 2003 年《果农之友》

《果农之友》是经国家新闻出版总署、科技部批准公开发行的、农业部主管的、中国农业科学院郑州果树研究所主办的果业界惟一一本大 16 开科普杂志,她介绍果树、瓜类最新科研成果及新品种、新技术,普及果树、瓜类栽培技术、病虫害防治和贮藏保鲜、果品深加工等科技知识,提供果瓜产销供求信息。具有先进性、科学性、实用性、通俗性等特色,是广大果农、瓜农的良师益友发家致富的好参谋。

《果农之友》2003 年改为月刊,大 16 开本,48 页。四封彩色,内文双色印刷。全年 12 期,每期定价 4 元,全年 48 元。全国各地邮局(所)均可订阅,邮发代号:36- 225。未订到本刊的读者,还可直接汇款到编辑部邮购,免费邮寄。欢迎集体订阅,每订阅 5 份,免费赠送 1 份。同时欢迎代办发行,欢迎刊登广告,欢迎加入“中国果农联谊会”。

统一刊号: CN 41-1343/S 全国各地邮局(所)订阅 邮发代号: 36- 225

编辑部地址: 河南省郑州市航海东路南 中国农业科学院郑州果树研究所

邮编: 450009 电子信箱: gnzy@371.net 网址: www.periodicals.net.cn

电话: 0371-6815740, 6723741 传真: 0371-6815771, 6815754