

## 谷子遗传资源多样性研究进展\*

杨天育<sup>1,2</sup>, 黄相国<sup>1</sup>, 何继红<sup>2</sup>, 沈裕琥<sup>1</sup>, 吴国忠<sup>2</sup>

(1 中科院西北高原生物所, 西宁 810001; 2 甘肃省农科院粮作所, 兰州 730070)

**摘要:** 谷子形态水平、染色体水平、生化水平及DNA水平上遗传多样性的研究进展表明, 谷子在不同生态环境下栽培, 适应性结果导致了形态学性状和农艺性状的较大变异; 染色体核型和带型的分析显示不同谷子品种在核型组成、核型分类方面存在分化; 生化水平上, 谷子的品质含量表现了丰富的多样性, 蛋白质标记的指纹图谱也存在一定的差异; 分子水平上, 谷子种内存在一定的遗传多样性, 分子标记是研究谷子遗传差异最有效方法。本文也对谷子育种如何有效利用遗传多样性研究的信息进行了探讨。

**关键词:** 谷子; 遗传多样性

中图分类号: S515

文献标识码: A

文章编号: 1004-1389(2003)01-0043-05

## Advance in Diversity of Genetic Resource of Foxtail Millet

YANG Tian-yu<sup>1,2</sup>, HUANG Xiang-guo<sup>1</sup>, HE Ji-hong<sup>2</sup>,  
SHEN Yu-hu<sup>1</sup>, WU Guo-zhong<sup>2</sup>

(1. Northwest Plateau Institute of Biology, Academia Sinica, Xining 810001, China; 2. Crop Institute of Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, China)

**Abstract:** In this paper, study advances in genetic diversity of foxtail millet were summarized from different aspects concluding morphology, chromosome, biochemistry and DNA. Results showed that there were large variation in morphologic and agronomic characters with cultivating in different ecological environments, there were differentiation in chromosome analysis, there were diversity in quality and protein fingerprint, there were also diversity in DNA and DNA analysis was the most available method in genetic diversity study. In the paper, some problems how to use the information of study on genetic diversity in foxtail millet breeding were also analysed.

**Key words:** Foxtail millet; Genetic diversity

遗传多样性, 狭义地是指种内的遗传变异, 它是作物遗传改良的基础, 要选育产量高、品质优、抗性强、适应性广的农作物优良品种, 必须要有丰富的基础材料和亲本资源。因此, 加强对资源材料的鉴定和遗传多样性的研究及评价, 有利于育种工作者深入了解种质资源的全貌, 开阔育种取材的思路, 从而正确地选择利用资源材料。谷子是我国北方地区重要的粮食作物之一, 由于其抗旱耐瘠、稳产丰产、营养丰富等特点, 成为具有区位优势

和比较优势的小杂粮作物, 在我国北方旱作农业和食品消费多元化需求方面占有重要地位。了解谷子遗传资源多样性的研究进展, 对于了解谷子种内遗传变异的大小、时空分布及其与环境的关系, 加深对谷子进化和分类的认识, 尤其对于确定谷子育种方案进行遗传改良都有重要意义。本文从谷子形态水平、染色体水平、生化水平及DNA水平上介绍了谷子遗传多样性的研究进展, 并对谷子育种工作如何有效利用遗传多样性的研

\* 收稿日期: 2002-08-24

基金项目: 甘肃省自然科学基金项目(ZS011-A25-038-N)资助。

作者简介: 杨天育(1968-), 男, 副研究员, 硕士, 主要从事谷子遗传育种研究工作。电话: (0931)7618917。E-mail: yang1968tian10yu@163.com。

究结果进行了探讨, 以期为我国谷子遗传改良提供有价值的参考资料。

## 1 谷子形态水平上的遗传多样性

在形态水平上谷子形成了明显的分化, 不仅具有苗、株、穗、粒等多样的形态和色泽, 而且多基因决定的数量性状也存在广泛的变异。谷子在不同生态环境下栽培, 适应性结果导致了形态学性状和农艺性状的较大变异<sup>[1]</sup>, 对 324 个世界谷子种质采集材料和 615 份谷子材料遗传变异的研究结果表明, 所考察的数量性状存在品种间和地区间显著的差异<sup>[2~4]</sup>。

形态水平上一些数量性状是重要的农艺性状, 其遗传变异的信息在实际育种工作中非常有用, 可以作为亲本材料选择的依据。研究表明, 春谷的穗码数、穗长、株草重、千粒重等性状, 夏谷的株草重、穗粗、穗重等性状基因型间存在明显的差异, 遗传变异系数大<sup>[5,6]</sup>; 谷子的单株粒重和有效分蘖 2 个性状的遗传变异系数 (GCV) 和表型变异系数 (PCV) 较高, 而株高和生育期的 GCV 和 PCV 较低<sup>[7]</sup>。

谷子是短日照喜温作物, 光温反应敏感, 每个生态类型的谷子品种具有一定的形态和生长发育上的差别, 特别是在光照阶段发育的迟早上存在明显差别<sup>[8]</sup>。根据谷子的光温反应型, 谷子可分为春播和夏播品种 2 大类, 春播品种又分成光温敏感型、光敏型、温敏型、中间型、光中温不敏感型、不敏感型 6 个光温反应型; 夏播品种分成光温敏感型、温敏型、中间型和不敏感型 4 个光温反应型<sup>[9]</sup>。

谷子形态性状的分化曾成为谷子种内分类的重要依据, 过去依据穗型、粒色、米色、米质、刺毛长短、幼苗叶色和刺毛色等主要形态性状对谷子种内的分类有过多方面的探讨, 但因为这些形态性状在不同生态环境下易发生变化, 所以对谷子品种类型划分出现了各种分歧, 现在借助细胞技术、生化技术、分子标记技术等, 已大体结束了过去的分歧。

## 2 染色体水平上谷子的遗传多样性

染色体是遗传物质的载体, 携带有连续、稳定、多样的遗传信息, 染色体的长度、着丝点的位置、染色体臂的长短、次缢痕的位置、随体的大小及有无等形态都是很稳定的, 能够在一定程度上反映物种的遗传多样性。周翔(1989)研究发现, 谷子品种间染色体数目、形态和结构虽然没有明显差异, 但核型往往各不相同<sup>[10]</sup>; 而杨秀英<sup>[11]</sup>对染

色体核型的分析则认为不同谷子品种不仅在核型组成、核型分类方面存在分化, 而且在染色体臂比、染色体大小方面均可见到不同变化; 封朝晖(1998)用自然核型分析也认为谷子品种间染色体结构是有一定差异的, 结构变化多集中在 2、3、4、5、6、7 染色体上<sup>[12]</sup>。不仅谷子染色体的核型存在分化, 而且不同基因型谷子染色体的带型也存在差异, 研究表明, 谷子染色体经高分辨分带后的带纹数可达 100~126 条之多, 不同谷子品种的带型有一定变化, 不同染色体间带纹数量、宽窄、颜色深浅也有差异<sup>[13]</sup>。

研究结果显示, 不同谷子材料染色体的长度差异较大。根据孙培业(1983)、周翔(1989)、田明(1989)、季元甫(1998)、封朝晖(1998)的研究, 谷子染色体组的绝对长度为 21.29~43.93  $\mu\text{m}$ , 染色体绝对长度变异范围 1.81~5.47  $\mu\text{m}$ , 最短染色体变异范围 9.81~2.91  $\mu\text{m}$ , 最长染色体变异范围 3.20~5.47  $\mu\text{m}$ ; 染色体相对长度变异范围为 4.08%~22.61%, 最长染色体变异范围为 4.98%~22.61%, 最短染色体变异范围为 4.49%~7.09%, 相对长度以第 1 号最长, 占染色体总长度的 15%~16%, 以第 8 号染色体最短, 占染色体总长度的 8% 左右。各个染色体的相对长度的变异程度以 3~5 号染色体最小, 变异系数 2.15%~2.73%; 以第 8~9 号染色体变异程度最大, 变异系数 5.76%~6.57%<sup>[14,10,15,16,12]</sup>。

着丝点和随体是染色体形态的明显特征之一, 研究表明谷子染色体的着丝点和随体具有多态性。谷子的第 1~8 号染色体为中部着丝点, 而第 9 号染色体为近端着丝点<sup>[17]</sup>; 着丝点指数(短臂/长臂+短臂 $\times$ 100%)最大变幅 27.8%, 最小变幅 19.6%<sup>[16]</sup>。谷子一般具有一对随体染色体, 随体的排列顺序因品种不同有很大的差异。杜竹铭(1982)研究报道谷子随体在 2 号染色体上, 与长臂相连<sup>[18]</sup>; 李秀兰<sup>[19]</sup>、封朝晖<sup>[12]</sup>报道则在第 7 号染色体上; 周翔(1989)发现所观察的品种的随体第 6、7、8 号染色体上都有, 且均位于短臂上<sup>[10]</sup>, 与 Marie-Lanr Ence Croulebois 的研究结果相似<sup>[20]</sup>; 而 Chikara(1979)测定的 6 个谷子品种, 每个品种的一对染色体都有一特定的随体出现<sup>[21]</sup>。

谷子染色体的形态、随体等核型及带型特征上的差异, 不仅从染色体水平上揭示了谷子的遗传多样性, 也成为谷子分类的依据。杨秀英综合核

型组成、核型类型、染色体相对长度系数 3 个方面将供试的 17 个谷子品种分为 8 个类型, 并认为性状相近的类型变化相对较小; 封朝晖利用臂比数据阵, 采用离方差和法对供试品种进行聚类分析, 从细胞学水平上对华北平原区品种系统分类中依穗分枝性状分类的合理性给予了支持。

### 3 生化水平上谷子的遗传多样性

大量研究表明谷子去壳后小米的营养品质有较大的差异。据中国农业科学院作物品种资源研究所综合分析室对中国北方主要谷子产区征集来的 312 个样品品种的分析结果, 小米蛋白质含量平均为 11.42%, 变幅 7.25% ~ 17.5%; 粗脂肪含量平均为 4.25%, 变幅 2.45% ~ 5.84%; 赖氨酸含量平均占蛋白质的 2.17%, 变幅 1.16% ~ 3.65%<sup>[27]</sup>。Vishwanatha 与 Rao 对谷子栽培品种蛋白质、磷、钙、镁含量的研究结果也认为谷子的营养品质有较大的差异<sup>[28, 29]</sup>。

中国谷子品种间蛋白质含量的变异相当大, 含量最低的内蒙品种黄玉 4 号(8.45%)和最高的陕西省品种边区 1 号(17.25%)相差 1.04 倍, 蛋白质含量总的变异系数为 11.94%; 不同谷子品种氨基酸含量的差异也很大, 16 种氨基酸变异系数在 13.33% ~ 15.96% 之间<sup>[30]</sup>。

谷子不同品种的直链淀粉含量、糊化温度、胶稠度、脂肪酸、维生素含量等性状不同品种间的差异较大, 硬脂酸、油酸、亚油酸、亚麻酸的变异系数分别为 16.08%、10.93%、6.61%、12.59%; vA、vB<sub>1</sub>、vB<sub>2</sub>、vE<sub>A</sub>、vE<sub>B</sub> 的变异系数分别为 31.84%、13.17%、17.50%、32.40%、26.09%<sup>[31-33, 27]</sup>。

生化水平上, 不仅谷子的品质含量表现了丰富的多样性, 蛋白质标记的指纹图谱也存在一定的差异。对来自世界 10 个地区谷子的酯酶、酸性磷酸酯酶、天冬氨酸酯转移酶、苹果酸脱氢酶和 6-磷酸葡萄糖脱氢酶的同工酶研究结果显示, 不同地区间谷子同工酶的组成不同, 且地区间差异较种间大<sup>[34]</sup>。中国和朝鲜谷子的差异大, 而日本谷子差异很小<sup>[35]</sup>。对来自国内不同地区的谷子品种的研究结果表明, 谷子不同品种间酯酶同工酶差异较大, 可分为质和量的差异。内蒙古高原区和黄土高原区谷子品种酶谱类型丰富, 变异广泛而复杂, 东北平原区和华北平原区的谷子酶谱类型较少<sup>[36, 37]</sup>, 也有研究认为品种间酶带相同占主要地位, 酶带的差异是次要的, 种内不同品种间的同工酶谱差异性主要表现为少数酶带的差异及相应

酶带相对活性的不同<sup>[38]</sup>。而对来自国内各地的 72 个谷子品种的过氧化物酶同工酶的研究结果表明, 谷子过氧化物酶同工酶类别与生态类型具有很大一致性, 谷子过氧化物酶同工酶种类多, 品种间差异大。叶片过氧化物酶同工酶一般品种酶谱带数在 18~23 条之间, 最多一个品种可出现 26 条谱带<sup>[39]</sup>。

谷子同工酶谱的多态性从生化水平上为认识谷子的遗传多样性及分析谷子种内遗传变异的大小提供了科学依据, 也为研究谷子的起源进化提供了重要资料。高明君等<sup>[37]</sup>的酯酶同工酶研究结果证明了我国栽培谷子系我国的青狗尾草野生种人工驯化而来, 同时说明黄土高原及其周边地区可能是中国谷子的起源中心, 这与温奎等<sup>[39]</sup>过氧化物酶同工酶, 吴权明等<sup>[38]</sup>酯酶同工酶研究结果认为黄河流域和黄土高原是谷子的起源中心地是一致的, 也被西安半坡遗址、河北武安磁山遗址和河南新郑裴李岗遗址遗存谷粒的我国考古发掘所证明。

禾谷类作物种子贮藏蛋白电泳图谱呈等显性遗传, 不受环境条件影响, 并且具有丰富的遗传多态性, 因此被广泛应用于物种的遗传多样性研究。谷子种子贮藏蛋白的研究结果显示谷子品种间清蛋白、球蛋白、谷蛋白的 SDS-PAGE 电泳图谱比醇溶蛋白的 SDS-PAGE 电泳图谱有更大变异, 而作为谷子中主要贮藏蛋白的醇溶蛋白, 其 SDS-PAGE 几乎是相似的或者根本没有差异<sup>[40, 41]</sup>。研究也表明, 谷子种子中总的贮藏蛋白电泳结果虽显示了很多的谱带, 欧洲品种和中国品种间贮藏蛋白存在一定差异, 但蛋白质电泳结果表明谷子种内蛋白质变异小于种间变异, 栽培谷子中遗传变异很小, 蛋白质电泳类型相当一致<sup>[42-44]</sup>。

### 4 分子水平上谷子的遗传差异

DNA 的碱基排列顺序即物种的遗传信息, 直接对 DNA 碱基序列的分析比较是揭示遗传多样性最理想的方法。近十多年发展起来的 DNA 标记技术(RFLP、RAPD、AFLP、SSR 等)由于其多态性高, 能够鉴定所有染色体组的多态性, 为分子水平上识别、估测物种的遗传多样性提供了更大的可能性。

应用 AFLP 标记对谷子的遗传差异进行的研究表明, 用 ECOR I、ECOR V、Dra I 和 Hind III 内切酶处理 27 个谷子品种(系)DNA, 将 33 个小麦单拷贝探针与之杂交, 22 个探针显示出了多态

性, 占总探针数的 66%, 用同样的方法处理上述筛选出的 7 个亲本材料 DNA, 用 61 个珍珠粟探针与之杂交, 有 48 个探针显示出多态性, 为总探针数的 78.7%。小麦探针和珍珠粟探针都很好给出了谷子的多态性, 用小麦探针杂交时, 其成对多态性为 31.3%, 是小麦本身的 2 倍, 用珍珠粟探针杂交时, 其成对多态性与珍珠粟相当 (56.0%)<sup>[45]</sup>。用高度多态性探针 gFM 31 和 59 个谷子品种进行的 DNA 指纹分析结果表明, 分子标记是研究谷子遗传差异最有效的方法, 该探针/酶组合给出了相当高的多态性, 共鉴别出 58 种类型, 59 份材料中共给出约 80 个条带, 主要分布于 4.4~ 23.1 kb 之间, 多态性不仅存在于有和无上, 也存在于强度比例上<sup>[46]</sup>。应用 AFLP 标记对谷子品种遗传多样性的研究认为中国谷子的遗传多样性丰富, 东欧和非洲谷子的遗传基础狭窄, 因此肯定了栽培谷子起源中心说的观点<sup>[47]</sup>。

利用 RAPD 标记技术对谷子品种进行的 DNA 分析结果表明, 谷子种内存在一定的遗传多样性, 应用 RAPD 技术, 利用多种引物可以从遗传上区分开谷子基因型; 通过对 RAPD 资料进行聚类分析, 认为基于 RAPD 分析的遗传类别与地理类型有很大的一致性, 并发现中国的谷子材料与其他地区的谷子相比, 有更大的遗传多样性<sup>[48~ 50]</sup>。

## 5 小结与讨论

综上所述, 谷子的遗传多样性可以体现在形态、染色体、生化和 DNA 的不同水平上, 对其检测也建立在不同水平的研究上。由于不同水平上采用的研究方法不同, 不同的研究方法又存在各自的优点和局限, 因此在理论或实际研究中应根据具体情况选择有用的研究信息来为谷子遗传改良服务。

我国是谷子的起源中心和多样性中心, 长期的驯化栽培和利用创新, 形成了丰富的谷子遗传变异类型, 编入《中国谷子品种资源目录》和《中国谷子遗传资源目录》的材料达 20 233 份<sup>[27]</sup>, 这些资源材料促进了谷子育种工作和旱作农业生产的长足发展, 但是要继续保持育种工作的强劲势头, 就必须研究和评价现有谷子育种材料的遗传多样性, 并加强对国外优异资源材料的引进和近缘野生种的创新利用, 寻找更广泛的遗传变异源; 同时, 由于分子生物学的迅猛发展及技术的发展对作物种质资源研究的影响越来越深刻, 必须不断

探索, 全面采用形态、细胞、生化及分子水平上的研究方法和技术, 对谷子育种材料的遗传多样性进行研究和评估, 为育种提供具有广泛遗传变异的资源材料, 以促进谷子育种和生产迈上新的台阶。

## 参考文献

- [1] Li Y, Wu SZ, Cao YS *et al*. A phenotypic diversity analysis of foxtail millet (*Setaria italica* (L.) Beauv) landraces of Chinese origin. *Genet. Resource Crop Evol* 1996, 43: 377 ~ 384.
- [2] Vishwanatha J K. Studies on the genetic variability in the world germplasm collection of foxtail millet (*Setaria italica* Beauv). *Mysore Journal of Agricultural Sciences*, 1978, 12 (3): 519~ 520.
- [3] Sato M, Kokubu T. Morphological differences of Italian millet (*Setaria italica* Beauv) among seed collecting areas. *Memoirs of Faculty of Agriculture, Kagoshima University*, 1988, 24: 101~ 109.
- [4] Sato M. Genetic properties of Italian millet (*Setaria italica* Beauv) collected by Kagoshima University. *Memoirs of Faculty of Agriculture, Kagoshima University*, 1988, 24: 91 ~ 100.
- [5] 刘子坚, 古世禄. 春谷主要形态性状与籽粒蛋白质、脂肪含量遗传相关研究[A]. 古世禄. 谷子研究新进展. 北京: 中国农业出版社, 1996. 235~ 241.
- [6] 刘敏营, 陈加贞. 夏谷数量性状遗传参数及其通径分析初报[A]. 中国作物学会谷子专业委员会论文集[C]. 1987. 233 ~ 241.
- [7] Selvarani M, Gomatheyayagam P. Genetic variability in foxtail millet [*Setaria italica* (L.) Beauv] [J]. *Crop Research Hisar*, 2000, 20(3): 553~ 554.
- [8] 陈家驹, 王雅儒, 王尧琴, 等. 谷子(粟)的品种生态型和它们的光照阶段分析[A]. 中国作物学会谷子专业委员会论文集[C]. 1987: 210~ 232.
- [9] 王殿赢. 中国谷子生态类型及生态区划[A]. 李荫梅. 谷子育种学[C]. 北京: 中国农业出版社, 1997. 44~ 77.
- [10] 周翔, 孙培业, 仇玉玲. 谷子基本核型的研究[J]. *中国农业科学*, 1989, 22(6): 30~ 34.
- [11] 杨秀英. 17 个谷子品种的核型比较分析[A]. 高粱、谷子黍稷优异资源[C]. 北京: 中国农业出版社, 1998. 14~ 25.
- [12] 封朝晖, 杨秀英. 华北平原粟种质资源核型分析及其在分类上应用初探[A]. 高粱、谷子黍稷优异资源[C]. 北京: 中国农业出版社, 1998. 54~ 82.
- [13] 王润奇, 高俊华, 王志兴, 等. 谷子染色体高分辨显带的研究[J]. *粟类作物*, 1993, 3: 1~ 8.
- [14] 孙培业, 郭晓才, 仇玉玲. 谷子细胞遗传学研究 I. 体细胞的组型和 Giemsa C 带的分析[J]. *山西农业科学*, 1983, 5: 13~ 15.
- [15] 田明, 王润奇. 谷子各类型及其近缘种的染色体组型和 Giemsa C 带研究[J]. *山西农业大学学报*, 1989, 9(2): 169

- ~ 179.
- [16] 季元甫, 杨秀英 粟种质资源核型分析和粟分类的初步研究 [A]. 高粱, 谷子黍稷优异资源 [C]. 北京: 中国农业出版社, 1998 26~ 53.
- [17] 古世禄 谷子育种的细胞遗传学基础 [A]. 李荫梅 谷子育种学 北京: 中国农业出版社, 1997. 130~ 174.
- [18] 杜竹铭 略论核型和谷子核型初步分析 [J]. 山西农业大学学报, 1982, 2(1): 9~ 21.
- [19] 李秀兰, 陈瑞阳 谷子和狗尾草核型分析 [J]. 武汉植物学研究, 1985, 3(4): 409~ 412.
- [20] Marie-Lanr Ence Crouelebois 中国红粘谷和法国红粘谷的核型研究 [J]. 粟类作物, 1993, 3: 38~ 41.
- [21] Chikara J, Gupta P K 谷子种性的细胞核研究, 谷子种内变异 [A]. 朱光琴 谷子二次文献专辑 [C]. 西安: 陕西师范大学出版社, 1991. 261.
- [22] 张树森, 李红苹, 张志鹏 张家口地区谷子品种资源蛋白质含量分析 [J]. 华北农学报, 1985, 10(4): 9.
- [23] 贺徽仙, 王文真, 王全龙 我国北方谷子资源蛋白质含量研究初报 [J]. 作物品种资源, 1985, 5: 19~ 21.
- [24] 李秀芝 吉林省谷子地方品种蛋白质、脂肪含量分析 [J]. 吉林农业科学, 1989, 1: 24~ 27.
- [25] 古世禄, 刘子坚, 李凌雨 山西省谷子品质蛋白质、脂肪含量及其相互关系研究 [J]. 华北农学报, 1986, 1(4): 15~ 20.
- [26] 李庆春, 黎裕, 曹勇生 谷子蛋白质含量和赖氨酸组成及其对蛋白质品质的评价 [A]. 粮食作物品质鉴定与评价 北京: 中国农业科技出版社, 1992 115~ 123.
- [27] 李荫梅 谷子育种学 [M]. 北京: 中国农业科技出版社 1997. 1~ 21, 401.
- [28] Vishwanatha J K, Gajanan G N. 谷子的营养价值 [A]. 朱光琴谷子二次文献专辑 [C]. 西安: 陕西师范大学出版社, 1991. 178.
- [29] Rao K B, Mithyantha M S, Perur N G 一些谷子品种的营养价值 [A]. 朱光琴 谷子二次文献专辑 [C]. 西安: 陕西师范大学出版社, 1991. 188.
- [30] 古世禄, 刘厦 中国谷子蛋白质、氨基酸组成研究 [J]. 华北农学报, 1989, 4(1): 8~ 15.
- [31] 赵淑玲, 李洪, 李萍 小米直链淀粉含量与食味品质的关系 [J]. 山西农业科学, 1987, 12: 1~ 2.
- [32] 刘永忠 谷子食味品质及其在育种上的应用 [J]. 山西农业科学, 1987, 9: 8~ 10.
- [33] Seetharam A, Mallikarjunardhya K, Laxminarayana M. Variation for oil content in a world collection of foxtail millet (*setaria italica* Beauv) [J]. *Sabrao Journal*, 1983, 15(2): 99~ 116.
- [34] Jusuf M, Pernes J. Genetic variability of foxtail millet (*Setaria italica* P. Beauv.). Electrophoretic study of five isoenzyme systems [J]. *Theor Appl Genet*, 1985, 71: 385~ 391.
- [35] Kawase M, Sakamoto S. Variation and geographical distribution of esterase isozymes in foxtail millet [J]. *Japanese Journal of Genetics*, 1979, 54(6): 443.
- [36] 刘润堂, 高平平, 温琪汾 谷子品种资源及其近缘种酯酶同工酶研究 [J]. 华北农学报, 1989, 4(3): 36~ 41.
- [37] 高明君, 陈家驹 栽培粟起源的同工酶研究 [J]. 作物学报, 1988, 14(2): 131~ 136.
- [38] 吴权明, 陈雪婷, 朱静林 谷子及其近缘野生种酯酶同工酶分析 (I) [J]. 西北农业学报, 2000, 9(3): 106~ 109.
- [39] 温奎, 张士遵 栽培粟过氧化酶同工酶的数量化分析 [J]. 华北农学报, 1990, 5(3): 14~ 19.
- [40] Vicent Montoiro P, Tumkur K, Virupaksha D, et al. Proteins of Italian millet: amino acid composition, solubility fractionation and electrophoresis of protein fraction [J]. *J. Sci Food Agric* 1982, 33: 535~ 542.
- [41] Kumar K K. Characterization of storage protein from selection varieties of foxtail millet (*setaria italica* (L.) Beauv) Parvathy Parameswaran K. *J Sci Food Agric* 1998, 77: 535~ 542.
- [42] 黎裕, 王雅儒 谷子及其近缘种的蛋白质变异 [J]. 作物品种资源, 1998, (2): 10~ 12.
- [43] Aradhya K M, Seetharam A, Mahishi O M, et al. Variability for seed protein in foxtail millet [J]. *M L WA IN EW SL*, 1983, 2: 12~ 13.
- [44] Dewet J M J, Destrystidd L L, Curebo J I. Origin and evolution of foxtail millet [J]. *J. d Agric Trop. BOT. Appl*, 1979, 26: 54~ 64.
- [45] 王志民, 王润奇, 刘春吉, 等 谷子 RFLP 研究及基因组 DNA 文库的构建 [J]. 中国农业科学, 1993, 26(4): 86~ 87.
- [46] 王志民, 刘春吉, 王润奇, 等 用 gFM 31 探针进行谷子品种的指纹分析 [J]. 遗传学报, 1996, 23(3): 228~ 233.
- [47] Ennequin M L d, Toupance B. Sarr A, et al. Assessment of relationships between *setaria italica* and its wild relative *S. viridis* using AFLP markers [J]. *Theoretical and Applied Genetics*, 2000, 100(7): 1061~ 1066.
- [48] 黎裕, 王雅儒, 贾继增, 等 利用 RAPD 标记鉴定谷子基因型和遗传关系 高粱、谷子、蜀黍优异种质 [M]. 北京: 中国农业出版社, 1998 106~ 110.
- [49] Li Yu, Jia Jizeng, Wang Yaru, et al. Intraspecific variation in *Setaria* revealed by RAPD analysis [J]. *Genetic Resource & Crops Evaluation*, 1998, 45(3): 279~ 285.
- [50] Schontz D, Rether B. Genetic variability in foxtail millet, *Setaria italica* (L.) P. Beauv.; identification and classification of lines with RAPD markers [J]. *Plant Breeding*, 1999, 118(2): 190~ 192.