

荞麦属种质资源发芽种子过氧化物酶同工酶研究

张以忠^{1,2}, 陈庆富^{1*}

(1. 贵州师范大学 生物技术与工程学院 植物遗传育种研究所, 贵阳 550001;

2. 毕节学院 环境与生命科学系, 贵州 毕节 551700)

摘要: 用聚丙烯酰胺凝胶电泳对荞麦属 9 个种(含大粒组 8 个和小粒组 1 个)32 个收集系栽培及野生荞麦种子的过氧化物酶同工酶进行了研究。结果表明:过氧化物酶同工酶酶带 23 条,不同物种的酶带数 4 到 8 条。其中,甜荞有 7 条带,而苦荞为 4 条。酶带分析及聚类分析表明:大粒组荞麦种的谱带与 *F. gracilipes* 等小粒组荞麦种间差异极大,甜荞和苦荞酶带分别与 *F. megaspartanium* 和 *F. pilus* 相似,并分别与 *F. megaspartanium* 和 *F. pilus* 聚类最近,支持 *F. megaspartanium* 和 *F. pilus* 可能分别是甜荞和苦荞祖先种的假说。

关键词: 甜荞;苦荞;野荞;过氧化物酶同工酶;系统关系;起源与进化

中图分类号: Q945.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-3142(2008)04-0553-05

Peroxidase isozyme in sprouting seeds of genus *Fagopyrum*

ZHANG Yi-Zhong^{1,2}, CHEN Qing-Fu^{1*}

(1. *Institute of Plant Genetics and Breeding, School of Biological Technology and Engineering, Guizhou Normal University, Guiyang 550001, China;* 2. *Department of Environment and Life Science, Bijie College, Bijie 551700, China*)

Abstract: The peroxidase isozyme of thirty-two collections of cultivated and wild buckwheat belonging to nine species of genus *Fagopyrum* including eight species of the big-achene group and one species of the small-achene group were studied by means of polyacrylamide gel electrophoresis(PAGE). The results showed that there are twenty-three different bands of peroxidase isozyme, with a range from four bands to eight bands among different buckwheat species. *F. esculentum* and *F. tataricum* have seven bands and four bands among different collections, respectively. The variations of peroxidase isozyme zymograph are very great among different buckwheat species but less in the same species. The results of the zymograph analysis and the clustering showed that there are much great difference of zymographs between the big-achene group and the small-achene group and that *F. megaspartanium* and *F. pilus* are close in clustering tree to *F. esculentum* and *F. tataricum*, respectively, supporting Chen's hypothesis that *F. megaspartanium* and *F. pilus* may be the ancestors of *F. esculentum* and *F. tataricum*, respectively.

Key words: common buckwheat; tartary buckwheat; wild buckwheat; peroxidase isozyme; phylogeny; origin and evolution

过氧化物酶是一种能利用 H₂O₂ 氧化供氢体的酶,对 H₂O₂ 的需求非常专一,在高等植物中广泛而大量存在,具有明显的种属、组织和发育阶段特异性,在一定程度上反映植物的系统发生(胡能书等, 1986;刘至斋等,2004)。过氧化物酶同工酶是基因

表达的产物,能够从分子水平上揭示物种的遗传基础,在物种的鉴定、起源、进化和分类等方面研究上已发挥着重要作用(曲柏宏等,2003;叶林奇,2005;杨尧军等,2006;陈存武等,2006)。另外,区炳庆等(2002)、谢可军等(2003)、林新春等(2004)、李雪等

收稿日期:2007-08-20 修回日期:2008-01-17

基金项目:国家自然科学基金(30471116);教育部新世纪人才支持计划(NCET2004-0931);国家“十一五”科技支撑计划(2006BAD02B06)[Supported by the National Natural Science Foundation of China(30471116);New Century Excellent Talents Supporting Program of Education Ministry(NCET2004-0931);Science and Technology Supporting Program of National Eleventh Five-Year Project(2006BAD02B06)]

作者简介:张以忠(1977-),男,贵州毕节人,硕士,讲师,从事生物学等课程的大学教学和荞麦科研工作。

* 通讯作者(Author for correspondence, E-mail: cqf1966@163.com)

(2005)、铁军等(2005)的研究均发现过氧化物酶同工酶能作为植物的分类依据。

荞麦(*Buckwheat*)属蓼科(Polygonaceae)荞麦属(*Fagopyrum*) (吴征镒, 1983; Chen, 2001; Wang 等, 2005, 2006)。该属约有 15 个自然物种和 1 个人工合成种, 可分为两个组, 即大粒组和小粒组。大粒组含 2 个栽培种(*F. esculentum*, *F. tataricum*)、4 个野生自然种(*F. zuogongense*, *F. megaspartanium*, *F. pilus*, *F. cymosum*)和 1 个人工合成种(*F. giganteum*) (Lee 等, 1994)。小粒组含 9 个野生种, 即 *F. gracilipes*, *F. leptopodum*, *F. statice*, *F. capillatum*, *F. callianthum*, *F. gilesii*, *F. pleioramosum*, *F. lineare* 和 *F. urophyllum*。两个组间遗传差异很大(Chen, 1999a, b; Chen 等, 2004)。

国内外有关荞麦过氧化物酶同工酶的研究报道

极少(高洪君等, 1994; 赵钢等, 1990), 而且主要集中在栽培荞麦少数品种上。本文对荞麦属所有大粒组种和部分小粒组种的过氧化物酶同工酶进行研究, 以便为荞麦属种间系统关系、栽培荞麦起源与演化、荞麦遗传育种等研究提供线索和资料。

1 材料与方 法

1.1 试验材料

试验材料的名称、编号、种名、倍性、原产地、代号等见表 1。所有试验材料全部由贵州师范大学生物技术与工程学院植物遗传育种研究所提供。

1.2 试验方法

1.2.1 种子发芽和样品制备 荞麦种子用 0.125% 新洁尔灭消毒 50 s, 自来水冲洗, 放入培养皿中的湿

表 1 供试荞麦材料

Table 2 Buckwheat accessions used in this study

名称 Name	编号 Accession	种名 Species name	倍性 Ploidy	原产 Native to	代号 Symbol
毕节甜荞 Bijie Tianqiao	ES2004010101	<i>F. esculentum</i>	2x	贵州毕节	ES1
黔西甜荞 Qianxi Tianqiao	ES2004102902	<i>F. esculentum</i>	2x	贵州黔西	ES2
威宁甜荞 Weining Tianqiao	ES2004010201	<i>F. esculentum</i>	2x	贵州威宁	ES3
水城甜荞 Shuicheng Tianqiao	ES2004091702	<i>F. esculentum</i>	2x	贵州水城	ES4
遵义甜荞 Zunyi Tianqiao	ES2004091703	<i>F. esculentum</i>	2x	贵州遵义	ES5
道真甜荞 Daozhen Tianqiao	ES2004091701	<i>F. esculentum</i>	2x	贵州道真	ES6
兴仁甜荞 Xingren Tianqiao	ES2004010401	<i>F. esculentum</i>	2x	贵州兴仁	ES8
平桥二号 Pingqiao 2	ES2004030101	<i>F. esculentum</i>	2x	四川凉山	ES9
湖南甜荞 Hunan Tianqiao Sibano	ES2004102901	<i>F. esculentum</i>	2x	湖南武冈	ES10
	ES2004062001	<i>F. esculentum</i>	2x	德国	ES11
捷克甜荞 Prague Tianqiao	ES2004082201	<i>F. esculentum</i>	2x	捷克	ES12
威宁苦荞 2 Weining Kuqiao 2	TA2003120102	<i>F. tataricum</i>	2x	贵州威宁	TA2
威宁苦荞 3 Weining Kuqiao 3	TA2003120103	<i>F. tataricum</i>	2x	贵州威宁	TA3
苦刺荞 Thorny Kuqiao	TA2001112202	<i>F. tataricum</i>	2x	贵州威宁	TA4
黔黑 1 号 Qian Hei 1	TA2004041507	<i>F. tataricum</i>	2x	贵州威宁	TA5
黔苦 2 号 Qianku 2	TA2004041503	<i>F. tataricum</i>	2x	贵州威宁	TA6
黔苦 4 号 Qianku 4	TA2004081103	<i>F. tataricum</i>	2x	贵州威宁	TA7
老鸡苦荞 Laoya Kuqiao	TA2001112203	<i>F. tataricum</i>	2x	贵州威宁	TA8
水城苦荞 Shuicheng Kuqiao	TA2004100102	<i>F. tataricum</i>	2x	贵州水城	TA9
沿河苦荞 1 Yanhe Kuqiao 1	TA2001100501	<i>F. tataricum</i>	2x	贵州沿河	TA10
沿河苦荞 2 Yanhe Kuqiao 2	TA1998100101	<i>F. tataricum</i>	4x	人工合成	TA11
九江苦荞 Jiujiang Kuqiao	TA2004081101	<i>F. tataricum</i>	2x	四川九江	TA12
湖南苦荞 Hunan Kuqiao	TA2004102902	<i>F. tataricum</i>	2x	湖南武冈	TA14
山西苦荞 Shanxi Kuqiao	TA2003100801	<i>F. tataricum</i>	2x	山西大同	TA15
野甜荞 Wild common buckwheat	HO2004101901	<i>F. escu var. homotropicum</i>	2x	云南	HO1
云南金荞 Yunnan Jinqiao	CY2002062501	<i>F. cymosum</i>	4x	云南	CY1
佐贡野荞 Zuogong wild	ZU2003070101	<i>F. zuogongense</i>	4x	西藏	ZU1
毛野荞 Pilous buckwheat	PI2004120101	<i>F. pilus</i>	2x	西藏	PI1
大野荞 Big wild buckwheat	ME2003101201	<i>F. megaspartanium</i>	2x	贵州	ME4
巨荞 Giganteum buckwheat	GI2003032001	<i>F. giganteum</i>	4x	人工合成	GI1
巨荞 Giganteum buckwheat	GI2003080101	<i>F. giganteum</i>	2x	人工合成	GI2
细野荞 Small wild buckwheat	GR2004100701	<i>F. gracilipes</i>	4x	云南	GR1

润滤纸上,在 25 °C 光照培养箱中保湿培养。待芽长到约 0.2~0.3 cm 时,剥去瘦果皮,称取 0.5 g 发芽种子加 0.8 mL 提取液(0.1 mol/L Tris-HCl 缓冲液,pH7.5)、0.96 g 聚乙烯吡咯烷酮(PVPP)和 0.5 g 石英砂,冰浴研磨至匀浆,于 4 °C 下 1 650 g

离心 20 min。上清液置-24 °C 下保存备用。

1.2.2 凝胶电泳 用聚丙烯酰胺垂直板凝胶电泳,分离胶浓度为 8.5%(pH8.9),浓缩胶浓度为 5.16%(pH6.3),胶板为 20 cm×12.5 cm×0.23 cm,每个样品槽加样 60 μL。4 °C 下进行电泳,起始

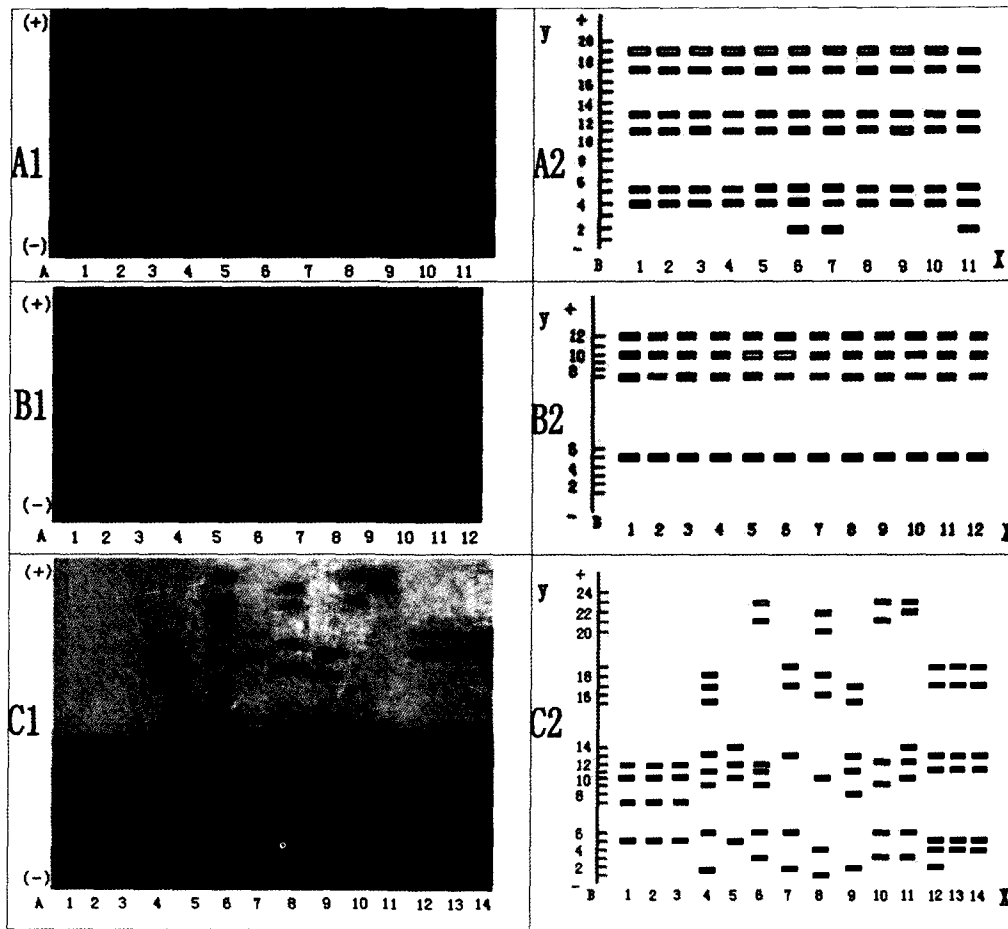


图 1 过氧化物酶同工酶酶图及模式图 x: 供试材料序号; y: 酶谱带编号。黑框示很深的带,灰色框示深带,空框示浅带。A1、A2 分别为甜荞过氧化物酶同工酶电泳图及其模式图。1~11 分别是 ES1, ES2, ES3, ES4, ES5, ES6, ES8, ES9, ES10, ES11, ES12。B1、B2 分别为苦荞过氧化物酶同工酶电泳图及其模式图。1~12 分别是 TA2, TA3, TA4, TA5, TA6, TA7, TA8, TA9, TA10, TA11, TA12, TA15。C1、C2 分别为荞麦属不同种过氧化物酶同工酶电泳图及其模式图。1~14 分别是 TA4, TA9, TA14, ZU1, PI1, GI1, ME4, GR1, HO1, GI2, CY1, ES6, ES9, ES10。

Fig. 1 Peroxidase isozyme zymographs and idiograms of buckwheat x: the number of materials; y: the number of isozyme bands. A black rectangle stands for a very dark band, a grey rectangle for a dark band, and an empty rectangle for a light band. A1 and A2 are the figures of Peroxidase isozyme zymographs(A1) of *F. esculentum* and their ideograms(A2). Among them, 1-11 is ES1, ES2, ES3, ES4, ES5, ES6, ES8, ES9, ES10, ES11 and ES12, respectively. B1 and B2 are the figures of Peroxidase isozyme zymographs(B1) of *F. tataricum* and their ideograms(B2). Among them, 1-12 is TA2, TA3, TA4, TA5, TA6, TA7, TA8, TA9, TA10, TA11, TA12 and TA15, respectively. C1 and C2 are the figures of Peroxidase isozyme zymographs(C1) of different buckwheat species and their ideograms(C2). Among them, 1-14 is TA4, TA9, TA14, ZU1, PI1, GI1, ME4, GR1, HO1, GI2, CY1, ES6, ES9 and ES10, respectively.

电压 100 V, 2 h 后加至 200 V。

染色参考胡能书等(1985),并稍加改动。染色液为:0.1 g 联苯胺+5 mL 无水乙醇+10 mL 1.5 mol/L 乙酸钠+10 mL 1.5 mol/L 乙酸+75 mL 双蒸水,溶解并过滤待用。胶片以用双蒸水冲洗 3 次后,在染液中加入 0.14 mL 30% H₂O₂,摇匀后倒在凝胶上,

轻微摇动,待酶带完全出现后,用自来水冲洗。拍照后放入 7% 的乙酸中保存。

1.3 数据分析方法

用系统聚类法,首先将各样品看成一类,有酶带数为 1,无酶带数为 0,使用联创科技有限公司开发的 SPSS11.1 分析软件,利用欧氏距离计算样品间距

离,用最短距离法计算类群间距离,按系统聚类分析方法对收集系进行聚类分析。分析中所涉及的公式如下:样品间距离: $d(X_i, X_j) = \sqrt{\sum(x_{ik} - x_{jk})^2}$, $i, j = 1, 2, 3, \dots, n$; $k = 1, 2, 3, \dots, m$; 类群间距离: $D_s(p, q) = \min\{d_{jk}, j \in G_p, k \in G_q\}$, 即类 G_p 与类 G_q 间最邻近的两元素之间的距离。

2 结果与分析

9个种32个收集系发芽荞麦种子的过氧化物酶同工酶电泳结果(图1)。从图1看出,过氧化物酶同工酶谱带共23条。不同物种酶带数4~8条。种内差异较小,种间差异较大。而且大粒组与小粒组之间的差异极大。根据谱带在凝胶中的分布特征,可分为4个区。A区(POD1-6),B区(POD7-14),C区(POD15-19),D区(POD20-23)。

甜荞(ES1、2、3、4、5、6、8、9、10、11、12),共7条带(POD-2、4、5、11、13、17、19)。其中,6条带(POD-4、5、11、13、17、19)为共有带,1条带(POD-2)在甜荞不同收集系之间存在变异。苦荞(TA2、3、4、5、6、7、8、9、10、11、12、14、15),共4条带(POD-5、7、10、12)。4条带在苦荞不同收集系之间均无变异。*F. zuogongense* (ZU1),共8条带(POD-2、6、9、11、13、15、17、18)。其中5条带(POD-2、6、9、11、13)为主带。*F. pilus* (PI1),共4条带(POD-5、10、12、14),其中3条带(POD-5、10、12)为主带。*F. giganteum* (GI1、2),共7条带(POD-3、6、9、11、12、21、23),其中6条带(POD-3、6、9、12、21、23)为共有带,1条带(POD-11)在*F. giganteum*不同收集系之间存在变异。*F. megaspartanium* (ME4),共5条带(POD-2、6、13、17、19),其中2条带(POD-2、6)为主带。*F. gracilipes* (GR1),共7条带(POD-1、4、10、16、18、20、22),其中2条带(POD-1、4)为主带。*F. esculentum* var. *homotropicum* (HO1),共6条带(POD-2、8、11、13、15、17),其中3条带(POD-2、11、13)为主带。*F. cymosum* (CY1),共7条带(POD-3、6、10、12、14、22、23),其中3条带(POD-3、6、14)为主带。

以上9种荞麦,根据酶带在B区和C区中的分布情况可分为三种类型。类型1:C区无带,B区POD-12有带,包括苦荞、*F. pilus* (PI1)、*F. giganteum* (GI1、2)、*F. cymosum* (CY1)。类型2:C区有谱带POD-17,B区有谱带POD-13,包括甜荞、*F. megaspartanium* (ME4)、*F. zuogongense* (ZU1)、*F. esculentum* var. *ho-*

motropicum (HO1)。类型3:C区有谱带POD-16,B区有谱带POD-10,包括*F. gracilipes* (GR1)。

从以上分析看出,甜荞与*F. megaspartanium*均有谱带POD-13、POD-17、POD-19,暗示其亲缘关系较近,同时甜荞、*F. megaspartanium*、*F. esculentum* var. *homotropicum*、*F. zuogongense*也有谱带POD-13、POD-17,暗示它们之间有一定的联系。苦荞和*F. pilus*均有谱带POD-5、POD-10、POD-12,暗示其亲缘关系较近。同时苦荞、*F. pilus*、*F. giganteum*、*F. cymosum*在C区均无带,B区有谱带POD-12,说明它们有一定的亲缘关系。*F. gracilipes*有特有谱带POD-1、POD-16、POD-20,暗示其与其它荞麦的亲缘关系很远;运用欧氏距离,对上述9种荞麦进行系统聚类,如图2所示,聚类图显示9种荞麦的关系。T=3时,9种荞麦独立成类,与传统分类相吻合。T=11时,9种荞麦聚成6类,其中甜荞和*F. megaspartanium*、苦荞和*F. pilus*、*F. zuogongense*和*F. esculentum* var. *homotropicum*分别提前并为1类,暗示各自有一定的亲缘关系。T=23时,9种荞麦分成2种类群。类群1包括大粒组的甜荞、*F. megaspartanium*、*F. esculentum* var. *homotropicum*、*F. zuogongense*、苦荞、*F. pilus*、*F. giganteum*、金荞(*F. cymosum*),类群2为小粒组的*F. gracilipes*,暗示荞麦属两个组间的亲缘关系很远。

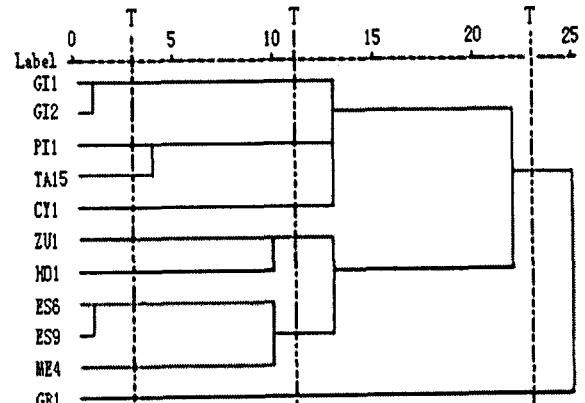


图2 荞麦发芽种子 POD 同工酶聚类图

Fig. 2 Clustering of peroxidase isozyme zymographs of sprouting seeds of buckwheat

3 讨论

关于过氧化物酶同工酶,目前国内外在荞麦方面的研究报道极少。高洪君等(1994)利用荞麦的茎叶为材料,研究了6个甜荞收集系的过氧化物酶同工酶,共发现9条酶带,美国甜荞与中国甜荞酶带差异很大,认为美国甜荞与中国甜荞的地理起源和亲缘关系较远。赵钢等(1990)对甜荞、苦荞和金荞进行了子

时期过氧化物酶同工酶研究,共发现 7 条带,其中甜荞有 4 条带,而苦荞和金荞均有 6 条带,认为甜荞和苦荞可能由金荞进化而来。本研究首次对荞麦属所有大粒组种和部分小粒组种的过氧化物酶同工酶研究发现:过氧化物酶同工酶带共 23 条,甜荞共 7 条带,其中 6 条共有带,1 条带存在变异,而苦荞均有 4 条带,无变异。本研究酶带数的增多与所用荞麦种和收集系较多有关。另外,本研究还发现 *F. megaspartanum* 和 *F. pilus* 的谱带分别与甜荞和苦荞的相似,这些结果与文献(Chen, 1999a, b; Chen 等, 2004)报道的谷草转氨酶和酯酶同工酶的研究结果一致。

目前,国内外对荞麦属种间系统关系及栽培荞麦起源上有一定的争议。赵钢等(1990)的过氧化物同工酶研究认为,栽培荞麦由金荞进化而来,金荞是栽培荞麦的祖先种。Ohnishi(1991)认为金荞、甜荞、苦荞的亲缘关系很远,金荞不可能是栽培荞麦的祖先种。Chen(1999a, b)和 Chen 等(2004)的研究认为:大野荞可能是甜荞的祖先种,毛野荞可能是苦荞的祖先种。本研究发现 *F. megaspartanum* 和 *F. pilus* 的谱带分别与甜荞和苦荞的相似,而且在聚类树上分别聚类最近,这些结果与 Chen(1999a, b; 2004)的研究结果一致。

参考文献:

- 胡能书,万贤国. 1985. 同工酶技术及其应用[M]. 长沙:湖南科学技术出版社:70-74
- 吴征镒. 1983. 西藏植物志(第 1 卷)[M]. 北京:科学出版社:604-605
- Chen CW(陈存武), Zhou SB(周守标). 2006. 大别山区六种黄精属植物的五种同工酶分析[J]. *Guihaia*(广西植物), 26(4): 395-399
- Chen QF, Hsarn S, Zeller FJ. 1999a. A study of resources of *Fagopyrum*(Polygonaceae) native to China[J]. *Bot J Linnean Society*, 130: 53-64
- Chen QF. 1999b. Hybridization between *Fagopyrum*(Polygonaceae) species native to China[J]. *Bot J Linnean Society*, 131: 177-185
- Chen QF. 2001. Discussion on the origin of cultivated buckwheat in genus *Fagopyrum* (Polygonaceae) [J]. *Advances in Buckwheat Research*, 206-213
- Chen QF(陈庆富). 2001. Karyotype analysis of five *Fagopyrum* species native to China (五个中国荞麦种的核型分析)[J]. *Guihaia*(广西植物), 21(2): 107-110
- Chen QF, Hsarn S, Zeller FJ. 2004. A study of isozyme and interspecific hybridization on big-achene group of buckwheat species (*Fagopyrum*, Polygonaceae)[J]. *Crop Sciences*, 44: 1 511-1 518
- Gao HJ(高洪君), Hou XG(侯旭光), Li D(李丹), et al. 1994. A study on peroxidase isoenzymes of six species of buckwheat(六种荞麦过氧化物酶同工酶研究初报)[J]. *J Zhelimu Animal Husbandry Coll*(哲里木畜牧学院学报), 4(2): 53-56
- Lee BS, Ujihar A, Minami M, et al. 1994. Breeding of inter-specific hybrids in genus *Fagopyrum*. 4. Production of interspecific hybrid ovules culture among *F. esculentum*[J]. *F. tataricum and F. cymosum Breeding Science*, 44: 183
- Lin XC(林新春), Jiang LW(蒋伦伟), Jiang NQ(蒋鸟琴). 2004. Analysis on the isoperoxidases of seven genus eleven species of Magnoliaceae(7 属 11 种木兰科植物的过氧化物酶同工酶分析)[J]. *J Jiangxi Fore Sci*(江西林业科技), (4): 6-7
- Li X(李雪), Wen JY(文婕英), Zeng XY(曾小英), et al. 2005. Soluble protein and peroxidase isoenzyme analysis of sibship in several plants of *Lilium*(百合属几种植物亲缘关系的溶性蛋白质和过氧化物酶分析)[J]. *J Northwest Normal Univ(Nat Sci)*(西北师范大学学报·自然科学版), 41(6): 58-60, 65
- Liu ZZ(刘至斋), Cai YL(蔡一林), Wang JG(王久光). 2004. Effect of low temperature stress on POD activity in isolated maize(*Zea mays*) leaf(不同低温处理对离体玉米叶片 POD 活性的影响)[J]. *J Southwest Agric Univ(Nat Sci)*(西南农业大学学报·自然科学版), 26(4): 386-388
- Ohnishi MR. 1991. Discovery of the wild ancestor of common buckwheat[J]. *Fagopyrum*, 11: 5-10
- Qu BQ(区炳庆), Ren JJ(任吉君), He LL(何丽兰). 2002. Application of peroxidase in the classification of pumpkin(过氧化物酶同工酶在南瓜分类中的应用)[J]. *J Foshan Univ(Nat Sci)*(佛山科学技术学院学报·自然科学版), 20(3): 45-47
- Qu BH(曲柏宏), Yan HS(严花淑), Chen YQ(陈艳秋), et al. 2003. The application of isozymic analysis to classification of pyrus cultivars(同工酶分析在梨品种分类中的应用)[J]. *J Agric Sci Yanbian Univ*(延边大学农学学报), 25(1): 86-91
- Tie J(铁军), Jin S(金山), Bai HY(白海艳), et al. 2005. 芦荟属植物种间杂交及其 F1 代 POD 同工酶鉴定[J]. *Guihaia*(广西植物), 25(5): 449-452
- Wang L, Li YY, Cai GH, et al. 2006. Prokaryotic expression and immunological identification of tartary buckwheat allergenic protein(TBa)[J]. *Chin J Biochem Mol Biol*, 22(4): 308-312
- Wang JS, Chai Y, Zhao XT, et al. 2005. Karyotype analysis of Chinese buckwheat cultivars[J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin*, 25(6): 1 114-1 117
- Xie KJ(谢可军), Li YC(李阳春), Wu TD(吴天德). 2003. Analysis on peroxidase isozyme of 10 species of Poa(10 种早熟禾属植物的过氧化物酶同工酶分析)[J]. *Grassland of China*(中国草地), 25(2): 30-33
- Ye LQ(叶林奇). 2005. A study of isozymes of peroxidase of 11 species in fern(11 种蕨类植物过氧化物酶同工酶比较)[J]. *J Fuling Teachers Coll*(涪陵师范学院学报), 21(5): 104-106
- Yang YJ(杨尧军), Li Y(李毅), Zhang SH(张生华), et al. 2006. Analysis of EST and PER isozyme of populus×jianhumao and its parents(箭胡毛杨及其亲本酯酶和过氧化物酶的同工酶分析)[J]. *J Gansu Agric Univ*(甘肃农业大学学报), 41(2): 46-50
- Zhao G(赵钢), Tang Y(唐宇). 1990. The study of peroxidase isozyme of buckwheat(荞麦过氧化物同工酶研究)[J]. *Fagopyrum*(荞麦动态), (2): 10-15