

- [20]吴迪,蔡伟民.壳聚糖对细菌细胞壁的影响[J].黑龙江大学学报,2003,20(3):101-104.
- [21]Chung Y C, Wang H L, Chen Y M, et al. Effect of abiotic factors on the antibacterial activity of chitosan against waterborne pathogens[J]. *Bioresour Technol*, 2003, 88:179-184.
- [22]Tsai G J, Su W H. Antibacterial activity of shrimp chitosan against *Escherichia coli*[J]. *Journal of Food Protection*, 1999, 62(3):239-243.
- [23]王鸿,沈月新.不同脱乙酰壳聚糖的抑菌性[J].上海水产大学学报,2001,10(4):380-382.
- [24]张文清,夏玮,程俞,等.不同分子量壳聚糖对植物病菌的拮抗作用及其诱导提高寄主植物抗病性[J].植物保护学报,2004,31(3):235-240.
- [25]巫钢,张志良,张利华,等.脱乙酰几丁质的制备及其对细胞透性和脱乙酰几丁质酶活性的影响[J].华东师范大学学报:自然科学版,

- 1995,2:102-107.
- [26]Leticia G R, Blanca I E A, Guadalupe M A U, et al. Selective anti-microbial action of chitosan against spoilage yeasts in mixed culture fermentations[J]. *Journal of Industrial Microbiology and Biotechnology*, 2004, 31(1):16-22.
- [27]Roller S, Covill N. The antifungal properties of chitosan in laboratory media and apple juice[J]. *Int. Food Microbiol.*, 1999, 47:67-77.
- [28]Park S I, Stan S D, Daeschel M A, et al. Antifungal coating on fresh strawberries (*Fragaria vesicularia*) to control mold growth during cold storage[J]. *Journal of Food Science*, 2005, 70(4): 202-207.
- [29]Ausar S F, Passalacqua N, Castagna L F, et al. Growth of milk fermentative bacteria in the presence of chitosan for potential use in cheese making[J]. *International Dairy Journal*, 2002, 12(11):899-906.

银杏组织培养生产黄酮、内酯的研究

郭长禄^{1,2},徐仲¹,戴正²,何新华³,陈力耕²,解秋菊¹,李艳召¹

(1.哈尔滨工业大学(威海)海洋学院,山东威海264209;

2.浙江大学农业与生物技术学院,浙江杭州310029;3.广西大学农学院,广西南宁530005)

摘要:该文从品种、外植体类型、培养方式、外源添加物、诱导发根等方面对近几年来组织培养生产银杏内酯和黄酮类化合物取得的进展进行了系统。

关键词:银杏;组织培养;黄酮;银杏内酯

中图分类号:S664.3 文献标识码:A 文章编号:1004-311X(2006)04-0091-03

Studies on Flavonoid and Ginkgolides Produced by Tissue Culture of *Ginkgo biloba*

GUO Chang-lu^{1,2}, XU Zhong¹, DAI Zheng², HE Xin-hua³, CHEN Li-geng², XIE Qiu-ju¹, LI Yan-zhao¹

(1. School of the Ocean, Harbin Institute of Technology at Weihai, Weihai 264209, China; 2. College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou, 310029, China; 3. Agriculture College of Guangxi University, Nanning 530005, China)

Abstract: There are more secondary metabolites for medicine in *Ginkgo biloba* and advances of flavonoid and ginkgolides produced by tissue culture were summarized in the article from cultivars, explants, culture types, additions, hairy root induction and so on.

Key words: *Ginkgo biloba*; tissue culture; flavonoid; ginkgolides

银杏(*Ginkgo biloba* L.)是我国特有的经济树种,素有“活化石”之称,有重要的药用价值,含有黄酮类化合物和银杏内酯等多种生理活性成分,具有抗衰老、提高人体免疫力的作用,并且对心脑血管疾病具有独特疗效。银杏黄酮类化合物和银杏内酯在天然植物中含量很低,银杏黄酮类化合物主要存在于银杏幼茎和叶片中;而银杏内酯主要存在于银杏的根和叶中,含量最高仅为0.01%。目前商品化的银杏黄酮类化合物和银杏内酯主要是从天然叶片中提取的,因此银杏黄酮类化合物和银杏内酯的利用受到地区和季节的限制,且提取过程繁琐复杂,损失严重;而利用银杏组织培养生产黄酮类化合物和银杏内酯,不但受季节控制,而且可以减少用地。组织培养条件容易控制,可以逐渐发展成为工厂化生产,推动医药事业的发展。

国内外研究银杏黄酮类化合物和银杏内酯的报道很多,大部分都是从银杏叶片中提取有效成分或者对其功能进行研究。20世纪90年代初韩国、加拿大等国学者首次提出了通过银杏细胞培养技术来生产银杏天然药物^[1,2]。近年来,人们在利用细胞、组织培养生产银杏黄酮类化合物和银杏内酯方面也取得了很大进展,为银杏黄酮和内酯等药物的工厂化生产奠定了基础。

1 银杏组织培养生产黄酮类化合物的研究

1.1 银杏不同品种和不同外植体诱导的愈伤组织黄酮类化合物含量不同

李春斌等通过比较12个不同品种的银杏幼叶及其诱导的愈伤组织中黄酮含量得出,梅核品种幼叶及其愈伤组织中

的黄酮含量均最高,分别为细胞干重的3.32%和1.36%,而大白果品种幼叶的黄酮含量最低,仅为0.84%,岭南品种幼叶诱导的愈伤组织黄酮含量最低,仅有0.22%^[3]。

倪静静等实验表明胚诱导的愈伤组织黄酮类化合物含量高于三个月苗龄的幼叶和胚乳诱导的愈伤组织,胚、三月苗龄的幼叶和胚乳诱导的愈伤组织黄酮类化合物含量分别为细胞鲜重的0.13%、0.06%和0.002%^[4]。

陈发兴等研究认为不同发育阶段的胚乳组织细胞所产生黄酮苷含量有明显的差异,球果幼嫩未成熟胚乳易诱导愈伤组织,诱导率100%,且产生的黄酮苷含量高于嫩叶;而球果成熟胚乳对愈伤组织诱导反应迟钝,诱导率仅有12%,所生成的次生代谢物质也低于嫩叶愈伤组织的生成量^[5]。

1.2 不同培养方式对黄酮类化合物产量的影响

1.2.1 直接从愈伤组织中获得黄酮类化合物

通过反复继代获得大量愈伤组织,然后直接从愈伤组织中提取次生代谢产物。许多学者都对此作了大量的工作^[3-5],并取得了重大的进展。但是此法不易于进行大规模的工业化生产,因此现在人们主要采用在此基础上发展起来的细胞悬浮培养和细胞固定化培养技术来研究黄酮类化合物的产生。

1.2.2 细胞悬浮培养生产黄酮类化合物

徐利钧等进行银杏细胞悬浮培养,测得悬浮细胞中黄酮糖苷含量为成熟叶片含量的92.4%,在液体继代培养基中添加5ml/l蜂蜜可明显促进细胞分裂、生长及黄酮糖苷的积累^[6]。

刘佳佳等通过缺氧胁迫小细胞团法选育出高产黄酮苷的悬浮细胞系,且优化了培养条件,指出 $\text{NH}_4^+/\text{NO}_3^-$ 为20.6/39.4或10.3/29.1,蔗糖含量为30g/l或40g/l时有利于细胞生长和黄酮的合成。选育的细胞系TZG-1的黄酮含量达到细胞干重的1.25%,比原愈伤组织提高了257.1%。并且该细胞系在继代过程中细胞生长指数和黄酮产率稳定^[7]。

杨林通过对光照和黑暗条件影响银杏黄酮类化合物形成的研究,得出光照培养下的3个组织系(ST1、ST2、ST3)中均含

收稿日期:2006-01-16;修回日期:2006-07-22

基金项目:国家博士点基金资助项目(20030335118);哈尔滨工业大学(威海)校基金资助项目(Y200502)

作者简介:郭长禄(1974-),男,博士,黑龙江省鹤岗人,研究方向:药用植物生物技术与分子生物学;陈力耕(1943-),男,教授,博士生导师,研究方向:果树生物技术与分子生物学。

黄酮甙元槲皮素、山奈素和异鼠李素,含量分别为:0.35%、0.29%、0.14%,而黑暗条件下则不含银杏黄酮^[8];去掉培养基中的氮源,虽不利于细胞的生长,但有利于细胞中黄酮的累积,黄酮的含量可达2.16% DW^[9]。

莫小路等研究悬浮培养细胞叶绿体的分化与黄酮类化合物积累的关系,指出有叶绿体分化的细胞中黄酮类化合物的质量分数高于无叶绿体分化的细胞,并且选育出细胞悬浮培养物中黄酮类化合物含量可达细胞干重的0.798%^[10]。

王德强等在悬浮培养过程中发现溶解氧、激素浓度对黄酮苷影响最大^[11]。

1.2.3 细胞固定化培养生产黄酮类化合物

秦卫东等对此作了相关研究,并且比较了固定化培养和悬浮培养在细胞增长量、黄酮产量和收获时间等方面的不同^[12],见表1。

表1 固定化培养和悬浮培养的比较

Table 1 Comparison of ways about immobilization culture and suspension culture

	细胞生长规律	细胞增长量	黄酮产量	收获时间
固定化培养	15d后细胞进入对数期,25d后生长缓慢	增加23.53倍	84.56mg/l	第25d
悬浮培养	12d以前细胞生长迅速,15d后开始下降	增加11.18倍	55.80mg/l	第20d

由表1可以看出:固定化培养比悬浮培养在细胞增长量和黄酮产量上分别提高了110%和40%以上。

1.3 外源添加物对黄酮类化合物产量的影响

杨林等发现在培养基中附加0.1g/l琼脂糖诱导子可使细胞中黄酮含量提高到细胞干重的2.23%^[9]。

江静等认为以蔗糖(30%)为碳源最有利于银杏黄酮的合成,以葡萄糖(40%)为碳源则最有利于细胞生长;附加黄酮前体物苯丙氨酸可提高黄酮产量,放线菌素-D不适合黄酮类药物物质生产^[13]。

尚富德等发现细胞中黄酮含量与培养基中La³⁺浓度呈负相关,而与Cu²⁺浓度呈正相关;而后者加入0.05g/l的苯丙氨酸和0.2g/l的乙酸钠前体物后,黄酮含量比对照增加1-2倍^[14]。

2 银杏组织培养生产银杏内酯的研究

Carrier D, et al.利用两相培养等一些新技术测定了液体悬浮培养细胞中银杏内酯A的含量,首次肯定了组织培养物中银杏内酯的存在^[15];并通过银杏离体细胞培养,成功地发现了萜类物质在一些细胞中的生物合成途径,并对其定位和调节作用有了基本的了解^[2]。Huh H, et al.在实验中发现,离体条件下器官型培养物-根和茎尖中的银杏内酯的含量远比非器官型的愈伤组织或悬浮细胞培养物的高^[16]。Cartayrade A, et al.通过同位素标记示踪法证明银杏内酯是在银杏根中完成并积累,然后聚集在银杏叶中,叶只是储藏部位^[17]。

2.1 银杏不同品种的内酯含量不同

王关林等对12个品种银杏幼叶及幼叶诱导愈伤组织的内酯含量进行比较,指出银杏内酯含量在品种之间差异较大,圆铃和金坠两个品种的幼叶和幼叶诱导的愈伤组织中内酯含量相对较高,分别为圆铃:0.43%和0.0282%,金坠:0.41%和0.0334%,并且筛选出了愈伤组织生长旺盛,银杏内酯含量高的品种-银杏圆铃,在此基础上又筛选出银杏内酯合成的最佳悬浮培养条件:150ml培养瓶中装50ml培养液,接种量为30-40g/l,培养液初始pH为5.8,以30g/l蔗糖和15g/l葡萄糖为碳源,光照强度3000-4000lx。银杏圆铃品种细胞悬浮培养物中银杏内酯B的最高含量可达细胞干重的0.0758%^[18]。

2.2 不同培养方式对银杏内酯含量的影响

2.2.1 细胞悬浮培养生产银杏内酯

由于愈伤组织中银杏内酯的含量太低,所以人们主要以

细胞悬浮培养和细胞固定化培养为主要研究银杏内酯的产生。刘佳佳等采用缺氧胁迫小细胞团法从愈伤组织中选育出7个高产悬浮细胞系,银杏内酯的合成能力比选育前的愈伤组织有了显著提高,其中细胞系MH-3培养周期为18d,细胞生物量增加3.71倍,银杏内酯含量达到细胞干重的0.048%,比选育前提高了182.4%^[19]。

莫小路等研究了来源于银杏种子胚和幼苗茎的悬浮细胞的生长、分化和培养物中白果内酯、银杏内酯A和B的含量变化,指出在悬浮培养中,胚性细胞悬浮体系的萜内酯含量高于茎来源的细胞悬浮体系;细胞团直径小于1mm时胚来源的悬浮细胞萜内酯含量分别是茎来源的2倍、1.4倍和0.56倍,直径在3-5mm的胚性细胞团中只有白果内酯和银杏内酯A,而茎来源的仅有白果内酯且含量为前者的1/2,银杏内酯B只在直径小于2mm的细胞团中积累^[20];有叶绿体分化的细胞萜内酯含量高于无叶绿体分化的细胞^[21]。

孟超等以6,7-V培养基为基础,在银杏组织培养的细胞中同时检测出银杏内酯B和白果内酯,但是产量低,仅有0.0066%和0.0230%,因此用植物组织培养方法有可能同时生产银杏内酯B和白果内酯^[22]。

2.2.2 细胞固定化培养生产银杏内酯

于荣敏等认为进行银杏细胞固定化培养以聚胺酯泡沫为固定化材料较好,聚胺酯泡沫以聚胺酯P29(29.6kg/m³),切割成0.5m³大小,每瓶0.72g载体的培养效果最好^[23],并且研究了植物生长调节剂对银杏固定化培养的细胞生长及发酵液中银杏内酯类成分产生的影响,得出了激素最佳组合:MS+2.4-D 8.0mg/l+KT 0.04mg/l+NAA 0.4mg/l,优化后的发酵液中银杏内酯A、B、C的含量分别为0.2mg/l、0.122mg/l、0.509mg/l^[24]。

2.3 外源添加物对银杏内酯产量的影响

刘佳佳等发现添加前体物质异戊二烯和香叶醇有利于银杏内酯产量的提高,在培养第10d添加100mg/L的异戊二烯和香叶醇,银杏内酯的含量分别为0.632mg/gDW和0.676mg/gDW^[25]。

崔堂兵等认为添加适量的硝酸钾铵和硝酸镧能促进银杏萜内酯的积累,在悬浮培养的当天加入0.1mg/l的硝酸钾铵,银杏萜内酯的含量和产量分别为7.3mg/l和0.595mg/gDW,分别比对照提高了140.4%和132.0%;而在培养的当天加入10mg/l的硝酸镧,银杏萜内酯的含量和产量分别为9.286mg/l和0.725mg/gDW,分别比对照提高了205.8%和182.9%^[26]。

戴均贵等通过在银杏悬浮细胞系中添加前体物质和真菌诱导子得出:添加100mg/l的异戊二烯和低浓度(10mg/l、50mg/l)的牻牛儿醇(geraniol)能不同程度地提高银杏内酯B的含量,分别比对照提高了69%、13.8%、11.4%;在实验用的10种真菌诱导子中,5mgGE/l的日本根霉诱导子提取液能使银杏内酯B的含量提高一倍以上,其余的真菌诱导子则不同程度地抑制银杏内酯B的合成与积累^[27]。

3 应用发根农杆菌转化生产黄酮类化合物和银杏内酯

近10年来,人们成功地运用发根农杆菌转化有较高经济价值的植物并诱导产生发根,利用发根培养技术来生产和提取有用的次生代谢产物。发根生长速度快,具有激素自主性,分化水平高,遗传特性稳定,合成能力较强,现已发展成为继细胞培养技术之后的又一新的培养技术。

银杏内酯是在银杏根中合成的,然后聚集在银杏叶中。用于离体研究的根最初是在半固体培养基中培养的,其产萜内酯的量与全部银杏叶的含量相同,但是根的生长速度很慢,不能用于萜类物质大规模生产。Laurain D, et al.对银杏进行了发根农杆菌转化,不但证明了银杏组织培养过程中银杏内酯的存在,而且分别测定了未转化发根农杆菌和转化发根农

杆菌的银杏悬浮培养细胞系的银杏内酯的含量,分别为0.065%和0.087%^[28]。我国学者刘树楠等用发根农杆菌转化银杏叶片、幼芽和幼茎,建立悬浮培养无性系,再生出毛状根,并且证明毛状根同样具有合成银杏黄酮和银杏内酯的能力^[29],并比较了不同化学因子对发根悬浮培养的影响,指出以B₅培养基为基本培养基,加入1.0mg/l NAA、15g/l的蔗糖有利于发根的培养^[30]。

4 前景展望

随着人们生活水平的日益提高,人们对自身健康更加重视,而且伴随心脑血管疾病日益增多,银杏黄酮和内酯的需求量也越来越大。因此,银杏组织培养工厂化生产银杏黄酮和内酯前景广阔。毋庸置疑,在过去的十余年里,利用细胞和组织培养技术生产银杏黄酮类化合物和银杏内酯等次生代谢产物的研究已经取得了较大的进展,但是,仍然面临着诸如生产成本高、离体细胞生长繁殖缓慢、次生代谢产物含量低等多方面的问题,因此,进一步优化银杏细胞组织培养条件、提高细胞生长繁殖速率和次生代谢产物含量、降低生产成本仍然是今后研究的重点方向。

参考文献:

- [1] Jenn M H, Sung S H, Huh H, et al. Ginkgolide B production in cultured cells derived from *Ginkgo biloba* L. leaves[J]. *Plant Cell Report*, 1995, 14(8):501-504.
- [2] Carrier D, archambault J, Heijden R, et al. Formation of terpenoid products in *Ginkgo biloba* L. cultivated cells[J]. *Plant Cell Report*, 1996, 15:888-891.
- [3] 李春斌,王关林,岳玉莲,等.培养条件对银杏悬浮培养细胞黄酮和成的影响[J].大连理工大学学报,2003,43(5):287-291.
- [4] 倪静静,黄学林,冈田芳明,等.银杏愈伤组织培养及其黄酮类化合物的测定[J].热带亚热带植物学报,2001,9(2):163-166.
- [5] 陈发兴,赖钟雄.银杏愈伤组织细胞生长及其黄酮苷含量[J].福建农林大学学报,2004,33(4):456-458.
- [6] 徐利钧,谢永红,甘霖,等.银杏组培繁殖及黄酮糖苷的产生[J].西南农业大学学报,2001,23(4):368-370.
- [7] 刘佳佳,郭勇,郑德平,等.高产黄酮苷银杏悬浮培养细胞系选育和继代稳定性研究[J].生物工程学报,2001,17(1):94-97.
- [8] 杨林.银杏愈伤组织的形成及其中黄酮类化合物的产生[J].天然产物研究与开发,2001,13(3):48-51.
- [9] 杨林,周吉源.银杏细胞悬浮培养及黄酮的产生[J].中央民族大学学报:自然科学版,2002,11(1):55-58,79.
- [10] 莫小路,黄学林,孟辰.银杏悬浮细胞叶绿体的分化与黄酮类产物积累[J].中山大学学报:自然科学版,2003,42(6):94-97.
- [11] 王德强,王晓玲.银杏细胞的悬浮培养研究[J].食品与生物技术学报,2005,24(3):27-29,33.
- [12] 秦卫东,高明侠,苗敬芝,等.固定化银杏克隆细胞悬浮培养产生黄酮的研究[J].食品发酵工业,2005,37(3):45-48.
- [13] 江静,尚富德,高青雨.银杏细胞悬浮培养及其黄酮类物质生产[J].河南大学学报,2002,32(3):20-24.
- [14] 尚富德,马云峰.不同浓度的La³⁺和Cu²⁺对银杏固体培养和液体培养组织中黄酮产量的影响[J].西北植物学报,2003,23(9):1577-1580.
- [15] Carrier D, Chauret N, Mancini M. Detection of ginkgolide A in *Ginkgo biloba* cell cultures[J]. *Plant Cell Report*, 1991, 10(5):256-269.
- [16] Huh H, Staba J. Ontogenic aspects of ginkgolide production in *Ginkgo biloba* [J]. *Plant Med*, 1992, 59:232-240.
- [17] Cartayrade A, Neau E, Sohieer C, et al. Ginkgolide and bilobalide biosynthesis in *Ginkgo biloba*. I: sites of synthesis, translocation and accumulation of ginkgolides and bilobalide[J]. *Plant Physiol Biochem*, 1997, 35(11):859-871.
- [18] 王关林,李春斌,方宏筠.提高银杏悬浮培养细胞内酯合成的研究[J].园艺学报,2002,29(4):321-325.
- [19] 刘佳佳,李晚如,郭勇,等.缺氧胁迫法选育高产银杏内酯悬浮细胞系研究[J].天然产物研究与开发,2001,13(2):1-4.
- [20] 莫小路,黄学林.银杏悬浮培养细胞的生长分化与萜内酯化合物的积累[J].生物工程学报,2004,20(3):445-449.
- [21] 莫小路,黄学林,孟辰.银杏选育悬浮细胞叶绿体的分化与黄酮类产物的积累[J].中山大学学报:自然科学版,2003,42(6):94-97.
- [22] 孟超,徐弘,程克棣.银杏植物各部位及银杏组织培养细胞中银杏内酯B和白果内酯含量的初步研究[J].天然产物研究与开发,2005,17(5):603-605.
- [23] 于荣敏,高越,吕华冲,等.银杏细胞固定化培养及其影响因素考察[J].中草药,2004,35(7):803-808.
- [24] 于荣敏,高越,宋丽艳,等.银杏细胞固定化培养及银杏内酯的产生[J].云南植物研究,2004,26(3):338-344.
- [25] 刘佳佳,江文辉,赵国玲,等.银杏致密细胞团颗粒悬浮培养生产银杏内酯研究[J].天然产物研究与开发,2001,13(4):16-19.
- [26] 崔崖兵,张长远,郑德平,等.稀土元素对银杏悬浮培养细胞生长和次级代谢产物积累的影响[J].广东农业科学,2002,5:29-31.
- [27] 戴均贵,朱蔚华,吴蕴祺,等.前体及其真菌诱导子对银杏悬浮培养细胞产生银杏内酯B的影响[J].药学学报,2000,35(2):151-155.
- [28] Laurain D, Guiller J, Chenieux J. Production of Ginkgolide and bilobalide in transformed and gametophyte derived cell cultures of *Ginkgo biloba* [J]. *Phyto Chemistry*, 1997, 46(1):127-130.
- [29] 刘树楠,孙天恩,李根保.银杏发根的转化及其悬浮培养无性系的建立[J].武汉大学学报,1998,44(2):238-240.
- [30] 刘树楠,杨春燕,周吉源.不同化学因子对银杏发根悬浮培养生长效应的研究[J].华中师范大学学报:自然科学版,2005,39(3):384-386.

薯蓣植物组织培养的研究进展

蒋玉宝,于元杰*

(山东农业大学农学院,山东泰安271018)

摘要:该文综述了组织培养在薯蓣植物快速繁殖、诱导多倍体及高产无性系筛选等方面的研究状况。褐化是薯蓣植物组培中常见的一种现象,也是阻碍组培发展的一大因素,为此,该文对褐化的原理作了分析并提出了几点解决方法,旨在使组织培养在薯蓣植物上得到更广阔的应用。

关键词:薯蓣;组织培养;褐变;药用植物

中图分类号:Q813.1*2 文献标识码:A 文章编号:1004-311X(2006)04-0093-04

薯蓣科(*Dioscorea*)是单子叶植物,约有10属650种,广泛分布于全球热带和温带。薯蓣植物是一类极其重要的经济作

物,其中多数种类的块茎可作食用、药用和工业原料。药用薯蓣体内含有薯蓣皂素(diosgenin)是合成甾体激素类药物的重要原料,其结构经改造和合成后,可得到数千种不同的甾体激素类药物,被医药界称作“药用黄金”。据有关资料介绍,皂素目前国际市场年需求量约为6000t,国内年需求量3000t,现在全世界年产量约3000t,可见市场缺口较大,因此薯蓣资源成为亟待解决的问题。野生薯蓣资源有限,生育期长而且大面积遭到采挖,栽培薯蓣植物可以解决对薯蓣资源的大量需求,经对穿山龙的试验,三年单产可达30000kg/hm²,但栽培薯蓣植物仍具有生长周期长和易受环境影响等缺点,因此作为继

收稿日期:2005-11-16;修回日期:2006-04-15

基金项目:山东省科技厅超级小麦育种技术研究与产业化开发项目[鲁科农字(2004)113号]

作者简介:蒋玉宝(1981-),男,山东曲阜人,在读硕士生,从事生物技术在植物育种上的应用方面研究, E-mail: dragonflyjyb@126.com, Tel: 0538-8242903;通讯作者:于元杰(1953-),男,山东莱州人,硕士生导师,教授,从事生物技术改良作物的理论和应用研究,发表论文26篇,获成果8项, E-mail: yuanjie@sdau.edu.cn。