

油菜素内酯的生理效应及发展前景

张 琳

(烟台大学 化学化工学院, 山东 烟台 264005)

摘 要:油菜素内酯是一种新型的、生理活性强的植物激素,对植物生长发育有着多方面的重要影响,其主要的生理效应是促进细胞伸长和分裂、促进植物光合作用、提高植物的抗逆性,同时可促进农药在植物体内的降解和代谢,为消除农产品中农药残留的问题提出了新思路。现对油菜素内酯的发展、生理效应以及国内外此方面的研究进行综述及简要的分析总结;同时对油菜素内酯未来的发展前景进行了展望。

关键词:油菜素内酯(BR);生理效应;发展前景

中图分类号:S 311 文献标识码:A 文章编号:1001-0009(2011)20-0188-04

1 油菜素内酯的发现和概况

1.1 发现及命名

油菜素内酯(Brassinolide 简称 BR)又称芸苔素内酯或芸苔素,它是一种甾体化合物,广泛存在于植物界,对植物生长发育有多方面的调节作用。在第16届国际植物生长调节物质(IFGSA)会议上,BR和水杨酸(SA)同时被列入“植物激素”的范畴,一些植物生理学家也将之称为“第六大植物生长激素”。BR是20世纪70年代由 Mitchell 等^[1]在尝试从花粉中筛选和分离具有高生理活性物质时首先发现的,油菜花粉经过乙醇、乙醚多次提取,进行薄板层析分离、风干后得到了生理活性极高的物质,该物质能强烈促进豆苗的生长,因此得名为油菜素(Brassin)。英国的 Mandava N B 等^[2]于1978年将油菜素精制后,得到具有高活性的结晶物。1979年,Grove 等^[3]确定其化学结构属于甾醇内酯,故命名为油菜素内酯(Brassinolide)。此后,BR及多种与其结构相似的化合物纷纷被从多种植物中分离鉴定。这些以甾醇为基本结构的具有生物活性的天然产物统称为油菜甾体类化合物^[4-5]。其中,以油菜素内酯的生理活性最强,被认为是一种新的植物激素^[6]。

1.2 种类与结构

BRs 是一类多羟基甾醇类物质,按发现的顺序编号为 BRs1、BRs2、BRs3...BRsn。BRs1 为油菜素内酯,是 BRs 中活性最强的一种^[6]。BRs 的基本结构都是胆甾烯的衍生物,它有一个甾体核,在核的 C-17 位上有1个侧链。根据在 B 环含氧的功能团的性质,可将 BRs 分为3类,即内酯型、酮型和脱氧型(还原型)。根据 C-24 位上取代基的不同,可将 BRs 分为 C₂₇ BRs(去甲 BRs)、C₂₈ BRs(C-24 上有甲基或亚甲基)和 C₂₉ BRs(高

BRs,C-24 为乙基或亚乙基)^[4]。通过多种生物试验,一般认为以下点对 BRs 的生理活性是重要的:①22(R),23(R)-二羟基;②24(S)-甲基或乙基;③B 环上7-位氧内酯或6-位酮;④3 α -羟基,2 α ,3 α -二羟基或3 α ,4 α -二羟基;⑤A/B 环为反式连接^[7]。

1.3 关键中间体的人工合成

油菜素内酯在农业上应用广泛,因而有关 BRs 的合成研究一直备受关注。油菜素内酯可以从几十种植物体中分离出来,也可以用化学方法进行人工合成。由于 BRs 的结构复杂及立体选择性强,BRs 的合成研究大多是利用适当的天然甾体化合物作为原料来进行的。豆甾醇(Stigmasterol)和麦角甾醇(Ergosterol)是其中最常用的起始原料。22E,24S-5 α -豆甾-2,22-二烯-6-酮(D)是合成的关键中间体^[8-9]。李干鹏等^[10]以豆甾醇(A)为原料经磺酰化合成化合物 B,B 在碱性条件下用二甲亚砷氧化得到化合物 C,C 再开环异构化得到关键中间体 D,其中着重探讨了 C 到 D 的异构化。对这步反应的条件进行了多次尝试,以求寻找到操作简便、经济合理的方法(图1)。

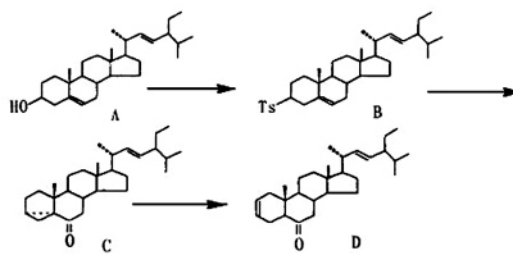


图1 油菜素内酯中间体的合成

1.4 市场

目前,在我国市场上以 BR 为有效成分的油菜素甾体类植物生长调节剂的产品主要有天丰素(广东省江门市农药厂生产)、皇嘉 BR 天然油菜素内酯(浙江省义乌市皇嘉生化有限公司生产)、天然芸苔素内酯 481(四川省成都市朝阳生化有限公司生产)、云大 120(昆明市云大科技产业有限责任公司生产)等^[11]。油

作者简介:张琳(1990-),女,山东蓬莱人,本科,研究方向为果蔬的农药残留降解。

基金项目:烟台大学大学生科技创新基金资助项目(100505)。

收稿日期:2011-07-01

菜素内酯可对水稻、玉米、小麦、甘蔗、甜菜、黄瓜等农作物进行浸种、喷施等处理。同时,随着油菜素甾体化合物产品的人工合成及工业化生产,其常见的应用名称有天然油菜素内酯^[12-14]、表油菜素内酯(EBR)^[15-18],而大多数人则采用油菜素内酯^[19-26]。

2 油菜素内酯的生理效应

2.1 促进细胞的伸长与分裂

油菜素内酯最突出的生理作用是促进植物细胞的伸长与分裂。其促进细胞伸长与分裂的原因:一是增强了 DNA 聚合酶和 RNA 聚合酶的活性,促进了核酸和蛋白质的合成;二是刺激质膜上 ATP 酶的活性,促使质膜分泌 H^+ 到细胞壁,促进细胞伸长。Hu 等^[27]的研究表明,油菜素内酯促进细胞分裂很可能是因为油菜素内酯激活了 CycD3 转录因子,因为细胞分裂素正是通过该基因而促进细胞分裂的。而鲁旭东等^[28]认为油菜素内酯是通过诱导细胞分裂和伸长、促使细胞壁松弛、增加细胞渗透吸水以及调节微管分布的方向等促进细胞的伸长生长。

2.2 提高植物的光合作用

BR 一方面能维持较高的叶绿素含量,提高叶片的净光合速率;另一方面还可促进光合产物的运输,维持较高的可溶性蛋白质含量,并且可解除光对生长的抑制作用。从而提高叶片光合速率,促进植物的光合作用,进而促进作物的生长。胡文海等^[29]的试验表明,0.1 mg/L BR 处理黄瓜叶片后能显著提高净光合速率,其效应可持续 1 周。BR 处理对叶片叶绿素含量和气孔限制值无明显影响,但显著提高了表观量子效率、羧化效率、Rubisco 最大羧化速率和 RuBP 最大再生速率。BR 还通过增加 PSII 反应中心开放程度,从而提高 PSII 光合电子传递量子效率,但不影响天线色素的光能转化效率。丁景新等^[16]用 BR 处理黄瓜的结果表明,BR 可促进黄瓜栅栏细胞变大,层数增加,淀粉粒积累增加,有利于养分的吸收和转运,增加 CO_2 同化及其同化物向库中的转运,提高 K^+ 吸收速率。这说明 BR 能促进光合产物的运输,调节营养的分配,进而促进光合作用,促进生长。

2.3 提高植物的抗病性

植物体内的过氧化氢酶(CAT)和过氧化物酶(POD)是一类重要的抗氧化酶,在清除病原物等诱导产生的氧自由基和过氧化物、抑制膜脂过氧化、保护细胞免遭伤害等方面起着重要作用^[30]。喷施 BR 后,作物中 H_2O_2 含量增加,丙二醛(MDA)含量下降,CAT 活性增强,POD 活性先缓慢下降然后升高。BR 通过调节植物体内氧的代谢平衡,从而减轻了氧化胁迫,使植物表现具有较高的抗病性。屈淑平等^[31]采用叶面喷施的方法,研究了 24-表油菜素内酯对南瓜疫病的诱抗作用及其生理机制。结果表明,EBR 处理降低了南瓜幼苗疫病病情指数,最高降幅达 29.0%。喷施 EBR 明显促进南瓜幼苗生长,即使在接种疫霉菌后,植株的长势也较好。表明 EBR 通过调节植物体内氧的代谢平衡,增强南瓜对疫病的抗性。屈淑平等^[32]再次采用叶面喷施的方法,研究了 24-表油菜素内酯对大白菜软腐病的诱抗作用及其生理机制。大白菜感染软腐病菌 H_2O_2 迅速累积,同时产生较多的膜脂过氧化产物

MDA,说明 EBR 对膜脂过氧化作用具有减缓的作用。证明经 EBR 处理后,大白菜幼苗对软腐病的抗性得到明显的提高。

2.4 促进愈伤组织的产生和诱导

BR 的浓度对作物叶片愈伤组织的生长有明显的影响,适宜浓度的 BR 可促进愈伤组织的生长,浓度过高时,愈伤组织愈发变褐,电导率升高,且过氧化物酶及超氧化物歧化酶(SOD)活性均升高,对愈伤组织生长产生了抑制作用,反而不利于愈伤组织的生长。邵志娟等^[33]的研究表明,在 MS 培养基中加入不同浓度的 BR,分别对仙人掌新萌发的嫩芽、茎、幼叶进行组织培养,表明 BR 促进仙人掌新萌发的嫩芽、茎、幼叶等外植体愈伤组织诱导和芽增殖。最适培养基为 MS+BR 0.2 mg/L。这对仙人掌组织培养快繁技术的改进和对同属其它植物的快速繁殖具有积极意义。曹云英等^[34]以百合科草本植物卷丹为试材,研究了 BR 对卷丹愈伤组织生长及分化的影响。结果表明,BR 处理作物后,其愈伤组织鲜重增加率、愈伤组织分化率均有显著提高。处理组愈伤组织叶绿素含量、蛋白质含量与对照组相比均有不同程度的提高,处理组愈伤组织过氧化物酶活性与对照组相比均稍有降低,但差异并不显著。试验表明,BR 能促进卷丹愈伤组织的增殖及分化,并有保绿作用。

2.5 延缓作物衰老

鲜切花脱离母体后由于水分失衡、营养缺乏和乙烯产生等会逐渐衰老,伴随组织含水量下降、膜脂过氧化加剧、膜透性增加、生物大分子降解等现象,使观赏品质逐渐下降,瓶插寿命有限。余彭娜等^[35]的研究表明,油菜素内酯对马蹄莲切花有保鲜抗衰的作用。结果表明 Hoagland 营养液及 0.2~2.6 mg/L 的油菜素内酯处理能降低马蹄莲切花的膜脂过氧化,减少氧化损伤,显著降低花瓣质膜相对透性,降低胞内物质外渗,延缓衰老。其中 1.4 mg/L 的油菜素内酯处理的作用效果最佳。余彭娜等^[36]考察了油菜素内酯对香石竹切花抗衰老的影响,他们以香石竹切花为材料,用含不同浓度 BR 的 Hoagland 营养液进行瓶插试验,培养 9 d 后测定花瓣电导率以及 MDA 含量、可溶性糖含量和可溶性蛋白质含量。含 1.0 mg/L BR 的营养液能很好地维持香石竹切花膜结构的稳定性,电导率降低 11.64%,也可在一定程度上减少 MDA 累积,减缓可溶性糖降解,使瓶插寿命延长 5 d。该研究为 BR 在香石竹等切花保鲜中的应用提供理论依据。

2.6 促进种子发芽

已知种子萌发时胚产生赤霉素(GA),BR 诱导 α -淀粉酶的形成,从而促进萌发。BR 有提高植物中 GA 含量的作用,故可促进番茄种子的萌发。此外,用 BR 溶液浸泡种子,可以增加 DNA、RNA 和蛋白质的合成,降低 DNA 和 RNA 水解酶的活性,促进种子发芽生长^[37]。林伟等^[38]的研究表明,BR 的浓度对番茄种子的萌发率有明显影响,番茄种子用不同浓度的 BR 溶液浸种后,其萌发率的结果也不同,其中以浓度为 0.01×10^{-6} mg/L 的处理组效果最好,表明 BR 可促进番茄种子的萌发。邹清成等^[39]研究了 BR 和 GA 在不同温度、不同浓度浸种对地稔种子发芽率的影响,结果

表明,以 BR 溶液浓度为 0.01 mg/L 在 4℃ 浸种处理时发芽率最高,达到 55.1%,发芽植株长势均衡,说明在该试剂在该浓度下具有提高种子发芽率的作用。高红明等^[40]试验表明,表油菜素内酯浸种能显著提高干旱胁迫下玉米种子萌发指数、根长,但对萌发率、根数、根重、芽长、芽重并无显著影响;显著提高幼苗叶片光合速率、气孔导度,极显著提高叶片蒸腾速率,而叶片相对电导率、水分利用效率显著降低,但对胞间 CO₂ 浓度、叶绿素含量及叶片细胞渗透势并无显著影响。

2.7 提高作物的抗冷性

油菜素内酯在提高作物耐冷性方面也展现出良好的效果^[41-42],能减轻不同抗冷性的植物幼苗在低温胁迫和回温恢复过程中的伤害作用,而且能促进幼苗根系和基叶的正常生长和健壮度。其作用方式可能是通过阻止植物幼苗产生过多的自由基或诱导形成较多的自由基清除剂来减轻膜脂过氧化作用,从而稳定膜的结构与功能,增强膜的防卫能力,以适应低温逆境的变化^[43]。刘德兵等^[44]的研究表明,冷胁迫条件下的香蕉幼苗分别经不同浓度的 BR 处理后,相对于对照来说,在一定的处理浓度范围内,可以明显地降低电解质外渗率,提高低温胁迫下香蕉幼苗叶片中 SOD 的活性,一定程度上提高了低温胁迫下香蕉幼苗叶片中可溶性蛋白的含量,减缓叶片中 MDA 的含量变化,可溶性糖含量明显提高,减少叶片萎蔫面积和死亡率,同时,明显地减缓了叶片中叶绿素降解的速度。这些代谢产物的变化,对提高香蕉幼苗冷胁迫期间的抵抗能力起着非常关键和重要的作用。周天等^[45]试验表明,用 BR 对玉米进行浸种处理,可以促进幼苗在低温下生长,其株高、干物重和叶片叶绿素含量较对照明显增加。同时,经 BR 处理的幼苗在低温下生长,与对照相比其组织的电导率下降,可溶性糖含量升高,脯氨酸含量上升,这些变化都与经 BR 处理的玉米幼苗抗冷性有关。

2.8 影响花粉发育与育性

BR 合成突变体与不敏感突变体表现为育性降低,表明 BR 可能与植株的育性有关^[46]。植物花粉中含有较多的内源 BR,花粉管的伸长已被证明与此有关,在 BR 合成突变体中,雄性不育主要原因是由于花粉萌发过程中不能伸长所致^[47]。在拟南芥及芥菜中,外施 BR 可促进单倍体种子的形成以及发育为正常株^[48]。这表明 BR 可影响植物的育性。

2.9 促进导管的分化

BR 在导管分化过程中起着重要的作用。用 nM 水平的外源 BR 处理菊芋外植体 24 h 后,导管分子分化速度提高,而一般导管分子分化时间需 72 h^[49]。Uniconazole 是一种赤霉素和 BR 生物合成的抑制剂,它可阻止百日草叶肉细胞分化成导管,但添加 BR 可以恢复叶肉细胞分化成导管这个进程,而施用赤霉素(GA)则不能恢复这个进程^[50]。

2.10 油菜素内酯的其它生理效应

BR 的生理功能是多方面的。BR 的其它生理效应还有:对葡萄具有明显的膨大作用^[51];影响作物糖代谢^[52];参与向地性和光形态建成;影响育性、顶端优势及维管组织的分化;促进根系的生长和发育;提高植物的抗药性;增强植物抗病虫的能力;提高产量和品质;

调节开花^[53]等。

3 发展前景

目前,大多数植物生长调节剂只能在较短的时间内发挥作用,需多次重复施用,且作用比较单一,油菜素内酯与这类植物生长调节剂相比,具有明显的优势。它能调节植物本身所需要的多种酶和激素,充分发挥植物自身潜能和生长优势,增强生命活力和抗旱耐涝能力。只要施用 1 次,就可达到保花、保果、膨大、着色、生长、矮化等多种目的,大幅度提高产量和改善品质。同时,还可减少农药、化肥的施用量,避免生态环境污染和降低作物种植成本,效益十分显著。

农作物的病虫害是影响世界各国农业可持续发展和食物供应的限制因子,世界各地每年投入近 300 万 t 农药来减少病虫害对农作物的危害,但由此带来的农产品污染和生态环境问题也引起了世界各地的普遍关注。农药被植物吸收后,并非一直残留在植物体内,而会被植物体内的某些酶慢慢地“消化”,只是这个过程没有人们期望得那么快,从而导致农产品采收后还有一定的农药残留。喻景权教授团队发现了植物生长物质油菜素内酯具有调控植物体内农药降解的作用。他们发现,抑制植物体内油菜素内酯生物合成能显著降低植物体内农药降解 3 个关键过程中的相关基因的表达和酶活性,增加农药残留;反之则具有加速农药在植物体内的降解的效果,减少农产品中的农药残留,从而为解决农产品农药残留提供了一条崭新的途径。在番茄、黄瓜、白菜和茶叶等多种作物上的试验表明,采收前 1 周用油菜素内酯处理能显著降低多菌灵、百菌清、毒死蜱和除虫菊酯等多种农药的残留,其降低效果达 30%~70% 左右。使用油菜素内酯这类高效广谱、无毒、无害的高科技新型植物生长调节剂是农业增效、农民增收的一条有效途径。因此,研究开发生产油菜素内酯系列产品,前景十分广阔。

参考文献

- [1] Mitchell J W, Mandava N B, Worley J F, et al. Brassins; a new family of plant hormones from rape pollen [J]. Nature, 1970, 225: 1065-1066.
- [2] Mandava N B, Kozempel M, Worley J F, et al. Isolation of brassins by pilot plant extraction of rape (*Brassica napus*) pollen [J]. Ind. Eng. Chem., 1978, 17: 351-354.
- [3] Grove M D, Spencer G F, Rohwedder W K, et al. A unique plant growth promoting steroid from *Brassica napus* pollen [J]. Nature, 1979, 281: 216-217.
- [4] Manadava N B. Plant growth promoting brassinosteroids [J]. Ann Rev Physiol Plant Mol Biol, 1988, 39: 23-52.
- [5] Moore T C. Biochemistry and physiology of plant Hormone [M]. 2nd ed. New York, Heidelberg, Berlin: Springer-Verlag, 1989: 33.
- [6] Sasse J M. Recent progress in brassinosteroid research [J]. Physiol Plant, 1997, 100: 696-701.
- [7] 杨海英, 李干鹏, 赵静峰, 等. 芸苔素甾醇类物质的研究进展 [J]. 化学研究与应用, 1999(5): 467-470.
- [8] Takatsuto Suguru, Ikekawa Nobu. Synthesis of (22R, 23R)-28-homobrassinolide [J]. Chem Pharm Bull, 1982, 11: 4181-4183.
- [9] Takatsuto Suguru, Muramatsu Masahito, Ohya Yoshie. Synthesis of 24-epibrassinolide related compounds with plant growth promoting activity [J]. Agric Biol Chem, 1988(8): 2059-2062.
- [10] 李干鹏, 李良, 杨靖华, 等. 芸苔素内酯关键中间体的合成 [J]. 云南大学学报(自然科学版), 1999(4): 312-313.
- [11] 张玉萍, 刘威生, 孙绍春, 等. 油菜素内酯在果树上的应用研究进展 [J]. 安徽农业科学, 2010(12): 6153-6157.
- [12] 李凯荣, 攀金拴. 新型植物激素-油菜素内酯类在农林上的应用

研究进展[J]. 干旱地区农业研究, 1998(4):103-109.

[13] 李凯荣, 贺秀贤, 王乃江. 天然油菜素内酯对沙棘种子萌发和下胚轴伸长的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2002(3): 89-90.

[14] 李凯荣, 张胜利, 贺秀贤. 天然油菜素内酯对油松和刺槐种子发芽的影响[J]. 林业科学, 2002(6):150-153.

[15] 杨军, 秦跟基. 表油菜素内酯和水杨酸对小麦花药培养的影响(简报)[J]. 植物生理学通讯, 1998, 35(4):288-289.

[16] 丁锦新, 马国瑞, 黄素青. 表油菜素内酯对黄瓜的生理效应[J]. 浙江农业大学学报, 1995(6):615-621.

[17] 丁锦新, 陶晓东. 表油菜素内酯对黄瓜幼苗抗冷性的影响[J]. 浙江农业科学, 1998(4):195-197.

[18] 朱诚, 刘非燕. 表油菜素内酯对黄瓜幼苗热激忍耐和抗氧化代谢的关[J]. 浙江农业大学学报, 1996(3):284-288.

[19] 陈其庚, 吴少华. 油菜素内酯(第六大类激素)的功用[J]. 福建果树, 1996(2):27-29.

[20] 侯雷平, 李梅兰. 油菜素内酯(BR)促进植物生长机理研究进展[J]. 植物学通报, 2001, 15:560-566.

[21] 孔祥生, 张妙霞. 油菜素内酯和多效唑对玉米种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 中国农学通报, 1998(2):21-23.

[22] 林如霓, 周孝瑞. 油菜素内酯在农业上的应用[J]. 农药, 1995(1): 30-31.

[23] 陆美莲, 谭光营. 赤霉素与油菜素内酯对茼蒿种子高温萌发的影响[J]. 种子科技, 2002(4):219-220.

[24] 王廷芹, 杨暹. 油菜素内酯对青花菜叶片中几种酶和产量的影响[J]. 中国蔬菜, 2002(5):15-17.

[25] 罗杰, 陈季楚. 油菜素内酯的生理和分子生物学研究进展[J]. 植物生理学通讯, 1998(2):81-87.

[26] 韩宣, 梁朝晖. 新型高效植物激素-油菜素内酯(BR)在蔬菜上的应用[J]. 吉林蔬菜, 1998(5):1-2.

[27] Hu Y X, Fang B, Li J Y. Promotive effect of brassinosteroids on cell division involves a distinct CycD 32induction pathway in *Arabidopsis* [J]. The Plant Journal, 2000(5):693-701.

[28] 鲁旭东, 刘华英. 油菜素内酯促进植物伸长生长机理研究进展[J]. 生物学教学, 2005(6):3-4.

[29] 胡文海, 黄黎锋, 毛伟华, 等. 油菜素内酯对黄瓜苗期叶片光合机构调节作用的研究[J]. 园艺学报, 2006(4):762-766.

[30] 杜秀敏, 殷文璇, 赵彦修, 等. 植物中活性氧的产生及清除机制[J]. 生物工程学报, 2001(2):121-125.

[31] 屈淑平, 王力莉, 崔崇士. 表油菜素内酯诱导南瓜幼苗抗疫病研究[J]. 中国蔬菜, 2008(5):13-16.

[32] 屈淑平, 张灵宇, 崔崇士. 表油菜素内酯诱导大白菜抗软腐病研究[J]. 东北农业大学学报, 2009(10):27-31.

[33] 邵志娟, 陈庆红, 张睿. 油菜素内酯对仙人掌愈伤组织诱导的影响[J]. 长春师范学院学报(自然科学版), 2007(6):58-59.

[34] 曹云英, 许锦彪, 赵华. 油菜素内酯对卷丹愈伤组织生长及分化的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2005(2):172-174.

的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2005(2):172-174.

[35] 余彭娜, 赵许朋, 汤绍虎. 表油菜素内酯对马蹄莲切花的抗衰保鲜作用[J]. 北方园艺, 2010(7):161-164.

[36] 余彭娜, 易小红, 汤绍虎. 表油菜素内酯对香石竹切花抗衰老的作用[J]. 安徽农业科学, 2010, 27:14911-14914.

[37] 李凯荣. 新型植物激素—油菜素内酯类在农林上的应用研究进展[J]. 干旱地区农业研究, 1998(4):103-109.

[38] 林伟, 付志兵. 油菜素内酯对番茄种子萌发的影响[J]. 琼州大学学报, 2003(5):67-68.

[39] 邹清成, 骆霞红, 金关荣, 等. 表油菜素内酯和赤霉素浸种对地稔种子发芽影响的试验初报[J]. 浙江农业科学, 2008(6):667-668.

[40] 高红明, 温爽, 张小丽, 等. 表油菜素内酯浸种对干旱胁迫下玉米种子萌发及幼苗生长的影响[J]. 安徽农业科学, 2006, 20:5208-5217.

[41] 丁彪, 王军辉, 张守攻. 日本落叶松无性系化学组成遗传变异的研究[J]. 河北农业大学学报, 2006(2):50-53.

[42] 谭晓风, 户丸信弘, 大庭喜八郎. 日本落叶松同功酶变异的基因分析及无性系鉴别[J]. 中南林学院学报, 1997(2):1-7.

[43] Mikihiisa Umehara, Shinjiro Ogita, Hamako Sasamoto. Two stimulatory effects of the peptidyl growth factor phytosulfokine during somatic embryogenesis in Japanese larch (*Larix leptolepis* Gordon) [J]. Plant Science, 2005, 169:901-907.

[44] 刘德兵, 魏军亚, 李绍鹏, 等. 油菜素内酯提高香蕉幼苗抗冷性的效应[J]. 植物研究, 2008(1):195-198.

[45] 周天, 周晓梅, 胡勇军, 等. 油菜素内酯对玉米幼苗抗冷性的影响[J]. 吉林师范大学学报(自然科学版), 2004(1):6-8.

[46] Clouse S D, Sasse J M. Brassinosteroids: essential regulators of plant growth and development [J]. Annu Rev Plant physiol Plant Mol. Biol., 1998, 49:427-451.

[47] Szekeres M, Nemeth K, Konec-Kalman Z, et al. Brassinosteroids rescue the deficiency of CYP 90, a cytochrome P 450, controlling cell elongation and de-etiolation in *Arabidopsis* [J]. Cell, 1996, 85:171-182.

[48] Kitami Y. Induction of parthenogenetic haploid plants with brassinolide[J]. Jpn J Genet, 1994, 69:35-39.

[49] Clouse S D and Zurek D M. Molecular analysis of brassinolide action in plant growth and development [A]. In: Brassinosteroids chemistry, bioactivity and application [C]. Washington D. C: America Chemical Society, 1991:122-140.

[50] Iwaski T, Shibaoka H. Brassinosteroids act as regulators of tracheary-element differentiation in isolated *Zinnia* mesophyll cells [J]. Plant Cell Physiol, 1991, 32:1007-1014.

[51] 周玉书, 朴春树, 仇贵生, 等. 0.003% 芸苔素内酯水剂在葡萄上的应用[J]. 农药, 2005(4):179-180.

[52] 李天来, 赵聚勇, 崔娜, 等. 苗期喷施表油菜素内酯对番茄叶中蔗糖代谢的影响[J]. 植物生理学通讯, 2008(3):417-420.

[53] 杨照渠, 刘才宝, 夏莹彬. 油菜素内酯的生理效应及其在果树上的应用[J]. 北方园艺, 2007(5):70-71.

Physiological Effects and Development Prospects of Brassinosteroids

ZHANG Lin

(College of Chemistry and Chemical Engineering, Yantai University, Yantai, Shandong 264005)

Abstract: Brassinosteroid(BR) is a new plant hormone with higher physiological activity, which plays an important role in regulating the growth and development of plants. The main physiological effect of BR was to promote cell elongation and division, enhance photosynthesis and stress tolerance, inhibit transpiration. The results showed that the Brassinosteroid could promote the pesticides' degradation and metabolism in plants, which marked that a new ideas put forward to solving pesticides residues of agricultural products. In this paper, the development, physiological effects and some concerned study of Brassinosteroid were analyzed and reviewed, with prospective on the development for Brassinosteroid.

Key words: Brassinosteroid(BR); physiological effect; development prospects