

廖文菊, 仁青志玛, 程 蕾, 等.  $\beta$ -环糊精-尿素包合物对青稞种子萌发的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(6): 172-173, 232.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2016.06.045

# $\beta$ -环糊精-尿素包合物对青稞种子萌发的影响

廖文菊, 仁青志玛, 程 蕾, 何 琳

(四川民族学院, 四川康定 626001)

**摘要:**为研究  $\beta$ -环糊精-尿素包合物溶液对青稞种子萌发的影响, 用不同浓度的纯尿素、纯  $\beta$ -环糊精和  $\beta$ -环糊精-尿素包合物溶液处理青稞种子, 结果表明, 尿素浓度为 5.0 g/L 时, 包合物可使青稞种子发芽率达 82.0%, 而纯尿素仅为 30.5%, 包合作用还能有效降低尿素对青稞种子根和幼苗生长的影响。

**关键词:**  $\beta$ -环糊精; 尿素; 包合物; 青稞; 萌发

**中图分类号:** Q945.34 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2016)06-0172-02

$\beta$ -环糊精( $\beta$ -CD)由于其分子特殊的空腔结构, 可选择性地结合有机小分子或离子形成不同稳定程度主客体包合物, 并对客体分子形成一定的缓控释性能, 这一性能在缓控释药物的制备上已广泛应用<sup>[1-2]</sup>。目前, 也有将其用于缓控释肥料制备方面的初步研究<sup>[3]</sup>, 前期研究表明环糊精-尿素缓控释肥料在降低尿素淋失方面表现出优良性能<sup>[4]</sup>。为进一步研究环糊精缓控释肥料对作物生长的影响, 本试验以青稞种子为研究对象, 考察不同浓度  $\beta$ -CD-尿素包合物溶液对青稞种子萌发的影响, 为将环糊精-尿素缓控释肥料用于生产实践提供进一步的理论基础。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

青稞(*Hordeum vulgare* L. var. *nudum* Hook. f.) 品种为康青 9 号, 由四川省甘孜藏族自治州农业科学研究所提供;  $\beta$ -环糊精(分子量 1 134.98)、尿素(分子量 60.06), 均购自四川省成都市科龙化工试剂厂。

### 1.2 试验方法

**1.2.1  $\beta$ -CD-尿素包合溶液的制备** 分别配制浓度为 0、1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、8.0、10.0 g/L 的尿素溶液, 将每一浓度的尿素溶液平分 2 份, 向其中 1 份加入  $\beta$ -CD, 使  $\beta$ -CD 与尿素质量比分别为 1:1, 将  $\beta$ -CD 与尿素混合溶液置于摇床中, 在 30℃ 下培养 12 h, 转速 100 r/min; 同时配制一组浓度为 1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、8.0、10.0 g/L 的  $\beta$ -CD 溶液作为 CK 组。

**1.2.2 种子萌发试验** 精选颗粒饱满、大小一致的青稞种子, 用 10% 双氧水消毒 10 min, 用蒸馏水反复冲洗, 将种子浸入蒸馏水置于 5℃ 的冰箱中处理 24 h, 再放入铺有 3 层滤纸、直径为 10 cm 的培养皿中, 每个培养皿 50 粒种子, 向各培养皿中分别加入试验“1.2.1”配制的各浓度尿素、 $\beta$ -环糊精-尿素包合溶液及纯  $\beta$ -环糊精溶液后, 置于培养箱中培养, 每

天定时滴入相应的不同浓度的溶液, 保持芽床湿润, 光照强度 2 000 lx, 每天光照时间为 12 h, 每组 4 个平行样。每天观察各处理发芽数, 以胚根和胚芽长度等于种子长度为生根、发芽标准<sup>[5]</sup>。种子置床 3 d 后, 根据国家种子检验标准测定发芽势、根长及出根数, 5 d 后测定苗长。

发芽率 = 7 d 内正常发芽种子数 / 供试种子数  $\times$  100%;

发芽势 = 前 3 d 正常发芽种子数 / 供试种子数  $\times$  100%。

## 2 结果与分析

### 2.1 $\beta$ -CD-尿素包合物对青稞种子发芽率和发芽势的影响

由表 1 可知, 未作任何处理时青稞种子的发芽率为 85.5%, 尿素、 $\beta$ -CD 和包合物处理的发芽率均低于 85.3%, 表明尿素、 $\beta$ -CD 和包合物对青稞种子的萌发均具有抑制作用。其中, 尿素的抑制作用最为明显, 尿素处理的青稞种子发芽率均低于 35%;  $\beta$ -CD 和包合物对青稞种子的萌发抑制作用较尿素小,  $\beta$ -CD 浓度为 3.0 g/L 时, 抑制作用最小, 种子发芽率可达 76.5%; 包合物浓度为 5.0 g/L 时, 抑制作用最小, 种子发芽率可达 82.0%, 主要是由于  $\beta$ -CD 的包合作用屏蔽了尿素对青稞种子萌发的影响, 从而提高了发芽率。

比较不同处理的发芽率和发芽势数据(表 1、表 2)可知, 浓度较低时, 尿素处理的发芽率与发芽势接近, 浓度  $\geq 5.0$  g/L 尿素处理的发芽势均大于其发芽率 30.5%, 其原因在于种子萌发后由于尿素浓度较高而烧苗死亡;  $\beta$ -CD 和包合物处理的青稞种子发芽率和发芽势数据则相差较大, 发芽势均低于发芽率, 表明  $\beta$ -CD 和包合物均会使青稞种子延迟萌发, 原因在于环糊精对种子萌发具有一定的抑制作用<sup>[6]</sup>。

### 2.2 $\beta$ -CD-尿素包合物对青稞种子出根数和根长的影响

由表 3 可知, 尿素处理时, 低浓度尿素对青稞种子根的生长具有促进作用, 而当尿素浓度达到 5.0 g/L 时, 则表现出抑制作用, 且浓度越高抑制作用越大。  $\beta$ -CD 处理时, 不同浓度的  $\beta$ -CD 均对青稞种子根生长表现出抑制作用, 但浓度变化对抑制作用的影响不大。包合物处理时, 包合物浓度  $\leq 3.0$  g/L 时, 表现出对青稞种子根生长的强烈抑制作用; 而当包合物浓度达到 4.0 g/L 时, 表现出对根生长的促进作用; 当浓度  $\geq 8.0$  g/L 时, 又表现出抑制作用, 表明一定浓度下,

收稿日期: 2015-05-14

基金项目: 四川省教育厅项目(编号: 15ZB0328)。

作者简介: 廖文菊(1984—), 女, 重庆人, 硕士, 讲师, 研究方向为主客体缓控释肥料。E-mail: wenjuliao@126.com。

表 1 不同浓度尿素、β-CD、β-CD-尿素包合物对青稞种子发芽率的影响

处理	不同浓度下的发芽率(%)							
	0 g/L	1.0 g/L	2.0 g/L	3.0 g/L	4.0 g/L	5.0 g/L	8.0 g/L	10.0 g/L
尿素	85.5 ± 3.4	25.0 ± 2.6	31.0 ± 2.6	25.5 ± 2.3	26.5 ± 2.4	30.5 ± 1.9	34.5 ± 1.9	29.5 ± 3.6
β-CD	85.5 ± 3.4	56.5 ± 1.9	62.5 ± 2.6	76.5 ± 1.9	75.0 ± 2.6	70.5 ± 2.6	65.5 ± 3.3	54.5 ± 2.4
包合物 <sup>①</sup>	85.5 ± 3.4	54.5 ± 3.4	51.5 ± 2.5	43.5 ± 3.4	56.5 ± 1.9	82.0 ± 3.7	81.5 ± 3.0	61.5 ± 3.4

注:①处的浓度为包合物中尿素的浓度  $n=4$ 。

表 2 不同浓度尿素、β-CD、β-CD-尿素包合物对青稞种子发芽势的影响

处理	不同浓度下的发芽势(%)							
	0 g/L	1.0 g/L	2.0 g/L	3.0 g/L	4.0 g/L	5.0 g/L	8.0 g/L	10.0 g/L
尿素	83.5 ± 1.7	25.0 ± 2.6	30.5 ± 1.7	23.0 ± 2.2	24.5 ± 2.6	49.5 ± 2.2	36.0 ± 1.4	31.5 ± 1.7
β-CD	83.5 ± 1.7	49.0 ± 2.2	57.0 ± 2.2	61.5 ± 3.8	65.0 ± 2.2	63.5 ± 1.7	61.0 ± 2.2	62.5 ± 1.7
包合物	83.5 ± 1.7	47.0 ± 2.2	44.5 ± 1.7	34.5 ± 1.7	49.0 ± 2.2	79.5 ± 3.3	69.0 ± 3.3	56.0 ± 1.4

表 3 不同浓度尿素、β-CD、β-CD-尿素包合物对青稞种子根长的影响

处理	不同浓度下的根长(cm)							
	0 g/L	1.0 g/L	2.0 g/L	3.0 g/L	4.0 g/L	5.0 g/L	8.0 g/L	10.0 g/L
尿素	0.89 ± 0.04	0.91 ± 0.03	0.95 ± 0.04	0.92 ± 0.03	1.02 ± 0.05	0.82 ± 0.03	0.71 ± 0.05	0.35 ± 0.05
β-CD	0.89 ± 0.04	0.64 ± 0.03	0.49 ± 0.05	0.65 ± 0.04	0.67 ± 0.04	0.55 ± 0.05	0.51 ± 0.05	0.59 ± 0.05
包合物	0.89 ± 0.04	0.45 ± 0.04	0.55 ± 0.04	0.81 ± 0.05	1.43 ± 0.05	0.95 ± 0.03	0.73 ± 0.05	0.64 ± 0.04

环糊精与尿素的协同作用有利于青稞幼苗根的生长;当尿素浓度达到 4.0 g/L 时,相同尿素浓度下,包合物处理的青稞种子根长度较纯尿素长一些,表明尿素浓度较高时,β-CD 的包合作用可在一定程度上屏蔽尿素对青稞根生长的影响,且其自身对青稞根生长的影响也因包含了尿素而减弱。

由表 4 可知,浓度较低时尿素、β-CD 和包合物对青稞种子出根数的影响均不大,纯尿素浓度为 3.0 g/L、β-CD 浓度为 4.0 g/L、包合物浓度为 3.0 g/L 时,对青稞种子出根还有一定的促进作用;但当浓度达到 8.0 g/L 时,则三者均表现出对出根的抑制作用,表明浓度过高时不利于青稞种子出根。

表 4 不同浓度尿素、β-CD、β-CD-尿素包合物对青稞种子出根数的影响

处理	不同浓度下的根数(条)							
	0 g/L	1.0 g/L	2.0 g/L	3.0 g/L	4.0 g/L	5.0 g/L	8.0 g/L	10.0 g/L
尿素	2.38 ± 0.12	2.20 ± 0.15	1.92 ± 0.11	2.51 ± 0.12	2.03 ± 0.15	2.01 ± 0.12	1.43 ± 0.15	1.49 ± 0.11
β-CD	2.38 ± 0.12	2.02 ± 0.13	2.08 ± 0.12	2.36 ± 0.11	2.78 ± 0.14	2.30 ± 0.10	1.83 ± 0.13	1.54 ± 0.12
包合物	2.38 ± 0.12	2.10 ± 0.11	2.15 ± 0.16	2.42 ± 0.11	2.37 ± 0.12	2.28 ± 0.10	1.64 ± 0.13	1.72 ± 0.10

2.3 β-CD-尿素包合物对青稞种子苗长的影响

由表 5 可知,尿素对青稞种子幼苗生长具有一定的抑制作用,虽然从苗长数据来看,尿素浓度对青稞苗长影响不大,但实际试验中,当尿素浓度高于 3.0 g/L 时,叶片顶部开始出现枯萎现象(即烧苗现象),尿素浓度越高烧苗现象越明显,表明较高的尿素浓度不利于幼苗生长;低浓度 β-CD 对青稞幼苗的生长具有促进作用,但当 β-CD 浓度达到 4.0 g/L 时,开始表现出对幼苗生长的抑制作用,当 β-CD 浓度达到 10.0 g/L 时,青稞幼苗苗长仅为 2.60 cm,远低于不作任何处

理的 4.73 cm;比较包合物与尿素和 β-CD 的数据可知,包合作用可以在一定程度上降低尿素对青稞幼苗生长的抑制作用,当尿素浓度 ≤ 5.0 g/L 时,在含有相同尿素的情况下,包合物处理的青稞种子苗长均大于纯尿素,且能有效避免烧苗现象的发生,而当尿素浓度 ≥ 8.0 g/L 时,包合物的抑制作用则更明显,原因在于较高浓度的 β-CD 和尿素均对青稞幼苗的生长具有抑制作用,二者浓度均较高时,作用叠加会导致抑制作用更大。

表 5 不同浓度尿素、β-CD、β-CD-尿素包合物对青稞幼苗苗长的影响

处理	幼苗苗长(cm)							
	0 g/L	1.0 g/L	2.0 g/L	3.0 g/L	4.0 g/L	5.0 g/L	8.0 g/L	10.0 g/L
尿素	4.73 ± 0.19	4.40 ± 0.35	3.75 ± 0.19	3.93 ± 0.33	2.80 ± 0.36	4.15 ± 0.31	3.93 ± 0.35	3.28 ± 0.22
β-CD	4.73 ± 0.19	4.75 ± 0.13	5.38 ± 0.24	4.95 ± 0.17	4.23 ± 0.26	4.33 ± 0.39	4.28 ± 0.21	2.60 ± 0.37
包合物	4.73 ± 0.19	4.43 ± 0.22	4.40 ± 0.26	4.03 ± 0.22	3.73 ± 0.17	4.75 ± 0.33	3.70 ± 0.14	3.13 ± 0.19

3 结论与讨论

浓度为 1.0、2.0、3.0、4.0、5.0、8.0、10.0 g/L 的尿素溶液处理时,青稞种子的发芽率均低于 35%,而 β-CD 包合作用可  
(下转第 232 页)

试验结果表明,尿素对青稞种子萌发具有较强的影响,用

### 3 讨论

国内外许多学者对防御酶活性与植物抗病性的关系进行了深入研究,寄主-病原物体系不同,得出的研究结果不尽相同<sup>[9-10]</sup>。以往研究认为:POD 参与形成对真菌孢子萌发具有直接抑制作用的物质—— $H_2O_2$ ,且参与木质素和木栓质的合成;PPO 酶可以催化植物产生对病原菌菌丝生长有毒性的物质(醌和单宁),参与催化酚类物质合成木质素的反应,促进细胞壁木质化以抵抗病原菌的侵害;PAL 酶活性升高会促进木质素的积累、酚类物质和植保素的合成,增加细胞壁的厚度,形成抵抗病原入侵的机械屏障<sup>[11]</sup>;几丁质酶和  $\beta-1,3$ -葡聚糖酶也是许多真菌细胞壁的主要组分之一,在植物的抗病性方面具有重要作用,能够降解真菌的细胞壁和抑制真菌的生长<sup>[11]</sup>。病原菌和化学因子都能诱导植物体内的 POD、PPO、PAL、几丁质酶和  $\beta-1,3$ -葡聚糖酶活性的升高。

研究表明:与对照相比,接菌处理的辣椒叶片防御酶活性均有不同程度的提高,辣椒品种不同,防御酶活性的变化量不同。接种白粉病菌后,抗性材料花溪辣椒的 POD、PPO 活性表现为峰值出现最早,感病材料表现为活性变化量大、峰值出现较晚。由此认为,接种白粉病菌后,抗病材料的 POD、PPO 活性迅速到达峰值,形成抑菌物质和有毒物质,促进木质化抵抗白粉病菌的侵染,感病材料则反应较慢,没有迅速抵抗病菌的侵入。接种白粉病菌后,抗病材料和感病材料的 PAL 酶活性都在 3 d 时到达峰值,抗病材料活性变化幅度大于感病材料,这可能是抗病材料 PAL 酶活性上升幅度大,大量积累了木质素,并迅速合成酚类物质和植保素,增加细胞壁的厚度,形成病原入侵的机械屏障,从而表现出来抗性,而感病材料 PAL 活性上升速度慢,没有迅速形成机械屏障阻碍病原菌的侵入表现为感病。接种白粉病菌后,花溪辣椒(抗病)和遵义辣椒(感病)的几丁质酶和  $\beta-1,3$ -葡聚糖酶活性迅速上升,而西安 8819(感病)的几丁质酶和  $\beta-1,3$ -葡聚糖酶活性上升速度较慢,这可能是由于辣椒品种不同而出现的差异,似乎这 2 种酶活性与辣椒的抗病性无相关性,与许多学者的研究结果不一样,其原因需要进一步研究。

组织病理学研究发现,辣椒叶片接种白粉病菌后 24 h,菌

丝周围的蜡质层被溶解,笔者认为这是菌丝分泌角质酶迅速降解辣椒叶片的角质,降低其防御能力,以达到侵害的目的。扫描电子显微镜和荧光显微镜观察均未发现菌丝从气孔侵入,且菌丝从气孔旁穿行而过,未见有从气孔侵入的迹象。其侵入方式有 2 种可能性,一是孢子产生附着孢后,附着孢产生吸器或侵染菌丝直接侵入植物组织;二是孢子产生附着孢后,并不产生吸器或侵染菌丝,而是附着孢在组织表面产生菌丝,以菌丝的侧枝侵入到植物组织里面。这需要以后的透射电镜的观察确定。

### 参考文献:

- [1] 白 滨,胡冠芳. 甘肃省辣椒病害新记录——辣椒白粉病[J]. 甘肃农业科技,2002(7):46.
- [2] 莫照礼,蒋选利,彭 赫. 10% 世高水分散粒剂防治辣椒白粉病药效试验[J]. 山地农业生物学报,2007,26(1):39-42.
- [3] 李 靖,利容千,袁文静. 黄瓜感染霜霉病菌叶片中一些酶活性的变化[J]. 植物病理学报,1991,21(4):278-283.
- [4] 薛应龙,欧阳光察,澳绍根. 植物苯丙氨酸解氨酶的研究 IV. 水稻幼苗中 PAL 活性的动态变化[J]. 植物生理学报,1983,9(3):301-305.
- [5] 车海彦,吴云锋,杨 英,等. 植物源病毒抑制剂 WCT-Ⅱ控制烟草花叶病毒(TMV)的作用机理初探[J]. 西北农业学报,2004,13(4):45-49.
- [6] 李保聚,李凤云. 黄瓜不同抗性品种感染黑星病菌后过氧化物酶和多酚氧化酶的变化[J]. 中国农业科学,1998,31(1):86-88.
- [7] 陈 鹏,李振岐. BTH 对小麦叶片防卫相关酶的系统诱导作用[J]. 西北植物学报,2006,26(12):2468-2472.
- [8] 汤章城. 现代植物生理学实验指南[M]. 北京:科学出版社,1999.
- [9] 刘会宁,姚晓雯. 葡萄霜霉病抗性与叶片生理生化指标的关系[J]. 江苏农业科学,2015,43(11):180-182.
- [10] 王雅雅,付瑞敏,于 烽,等. 植物土传疾病拮抗菌的筛选及其生防潜力评价[J]. 江苏农业科学,2015,43(7):102-106.
- [11] Sekizawa Y,Harayawa T,Kano M,et al. Dependence on ethylene of induction of peroxidase and lipoxygenase activity in rice leaf infected with blast fungus[J]. Agric Bio Chem,1990,54:471-478.

(上接第 173 页)

使青稞种子发芽率可达 82.0%;低浓度尿素对青稞种子根的生长具有促进作用,而当尿素浓度达到 5.0 g/L 时,则表现出抑制作用;包合物浓度  $\leq 3.0$  g/L 时,表现出对青稞种子根生长的强烈抑制作用,而当包合物浓度达到 4.0 g/L 时,表现出对根生长的促进作用,当浓度  $\geq 8.0$  g/L 时则又表现出抑制作用,表明一定浓度下环糊精与尿素的协同作用,有利于青稞幼苗根的生长;尿素对青稞幼苗的生长也有抑制作用,会导致烧苗,低浓度的  $\beta$ -CD 对青稞幼苗生长具有促进作用,但高浓度的  $\beta$ -CD 对青稞幼苗生长具有抑制作用, $\beta$ -CD 包合作用可一定程度上降低尿素对青稞幼苗生长的抑制作用。

### 参考文献:

- [1] Vyas A, Saraf S, Saraf S. Cyclodextrin based novel drug delivery

systems[J]. Journal of Inclision Phenomena,2008,62(1):23-42.

- [2] 吴佳新,张德保. 北苍术挥发油  $\beta$ -环糊精包合物制备工艺试验[J]. 江苏农业科学,2015,43(6):256-257.
- [3] 唐德华.  $\beta$ -环糊精-磷酸-铵包合物的制备及缓/控释性能研究[J]. 广东农业科学,2013(19):105-107.
- [4] 廖文菊,唐德华,程晓彬.  $\beta$ -环糊精-尿素包合物的制备及应用性能研究[J]. 安徽农业科学,2014(13):3823-3824.
- [5] 姚晓华,吴昆仑. PEG 预处理对青稞种子萌发和幼苗生理特性的影响[J]. 西北植物学报,2012,32(7):1403-1411.
- [6] Salminen L,Uosukainen M,Mattson P,et al. Action of cyclodextrin on germinating seeds and on micropropagated plants[J]. Starch/Staerke,1990,42(9):350-353.