

## 外源锌浸种对大豆种子萌发、大豆芽生长及锌积累的影响

徐娜<sup>1,2</sup>, 邹涛<sup>1</sup>, 庞锦伟<sup>1</sup>, 胡广林<sup>1</sup>

(1. 热带生物资源教育部重点实验室, 海南大学 材料与化工学院, 海南 海口 570228; 2. 厦门大学 化学化工学院, 福建 厦门 361005)

**摘要:** 采用不同浓度的锌溶液( $0 \sim 100 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ )浸种8 h后水培5 d培育大豆芽, 测定了外源锌浸种后大豆种子吸水率、发芽率和大豆芽生长过程中芽长、鲜重、含水量、生物产率及锌积累, 并对富锌大豆芽中锌的生物可利用性进行了评估。结果表明:  $10 \sim 100 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 外源锌浸种可以提高大豆种子的吸水率, 对大豆芽芽长、鲜重、含水量和生物产率的影响不明显。当浸种液中锌浓度超过  $30 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时, 大豆种子的萌发受到显著抑制( $P < 0.05$ )。随着浸种液中锌浓度的升高, 大豆芽可食部分、不可食部分的含锌量均较对照显著增加( $P < 0.05$ ), 且不可食部分大于可食部分。从锌元素生物利用性上看, 大豆芽可食部分在外源锌浓度  $10 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 时、不可食部分在外源锌浓度  $10 \sim 30 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 范围内锌的生物可接受率均显著高于对照( $P < 0.05$ ), 且不可食部分大于可食部分。综上所述, 在不影响种子萌发和芽苗生长的前提下,  $10 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ 的外源锌浸种有利于大豆芽对锌的积累。

**关键词:** 大豆芽; 锌; 浸种; 生长; 生物利用性

中图分类号: S565.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-9841(2012)06-0932-05

## Influences of Exogenous Zinc Soaking on Seed Germination, Sprout Growth of Soybean and Zinc Accumulation in the Sprouts

XU Na<sup>1,2</sup>, ZOU Tao<sup>1</sup>, PANG Jin-wei<sup>1</sup>, HU Guang-lin<sup>1</sup>

(1. Key Laboratory of Tropical Biological Resources of Ministry of Education, College of Material Science and Chemical Engineering, Hainan University, Haikou 570228, Hainan; 2. College of Chemistry and Chemical Engineering, Xiamen University, Xiamen 361005, Fujian, China)

**Abstract:** The objective of current research was to ascertain the influences of exogenous zinc ( $\text{Zn}^{2+}$ ) soaking on cultivating zinc-enriched soybean sprouts. Soybean seeds were soaked for 8 h in zinc sulfate solutions containing different concentration of zinc ( $0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ) and then cultivated for 5 days with deionized water for the preparation of sprouts. The water absorption rate and germination rate of seeds, and the length, fresh weight, water content, biological yield and zinc accumulation of soybean sprouts were determined. Meanwhile, the bioaccessibility of zinc from soybean sprouts was also evaluated using an *in vitro* digestion/dialysis method. The obtained results showed that exogenous zinc soaking with  $10 \sim 100 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  Zn solutions could improve the water absorption rate of soybean seeds, but there was no obvious effect on the growth of soybean sprouts. Soybean seed germination was inhibited obviously ( $P < 0.05$ ) when  $C_{\text{Zn}^{2+}}$  in soaking solution was great than or equal to  $30 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ . Zinc contents in edible or inedible part of sprouts increased significantly ( $P < 0.05$ ) with zinc concentration of soaking solutions. The content and bioaccessibility of zinc from inedible part of sprouts were higher than those from edible part. The bioaccessibility of zinc from edible and inedible part exceeded greatly over those of CK ( $P < 0.05$ ) with the concentration of soaking solutions for edible and inedible part respectively at  $10 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$  and  $10 \sim 30 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ . In conclusion, exogenous zinc soaking with zinc sulfate solution of appropriate concentration ( $10 \mu\text{g} \cdot \text{mL}^{-1}$ ) can facilitate the zinc accumulation in soybean sprouts in circumstances where normal seed germination and sprout growth are guaranteed.

**Key words:** Soybean sprouts; Zinc; Soaking; Growth; Bioavailability

锌是人体必需的微量元素, 具有十分重要的生理功能。锌摄入不足会导致多种疾病, 严重时会出现生长发育迟缓、孕妇胚胎异常以及身体免疫功能下降等障碍<sup>[1]</sup>。我国居民普遍存在着锌摄入不足的“隐性饥饿”问题, 特别是儿童锌缺乏严重影响生长发育和智力成长<sup>[2-3]</sup>。

食物是人体内锌的主要来源。通过饮食增加锌的摄入, 是补充锌营养的方法之一。食用微量元素锌强化的大豆芽, 不失为改善人体锌营养水平的

一种简便方法。对于大豆芽的锌强化, 文献主要报道了两种方式, 一种是以硫酸锌溶液浸种并使用相同锌溶液进行芽苗培育<sup>[4]</sup>, 另一种是以清水浸种、萌发后用硫酸锌溶液进行芽苗培育<sup>[5]</sup>。用这两种方式培育出的大豆芽中锌含量均有效提高, 同时高浓度的锌培养液会明显抑制、甚至毒害大豆芽的正常生长<sup>[6]</sup>。董杨等<sup>[7]</sup>用硫酸锌溶液进行发芽实验, 研究发现高浓度的硫酸锌溶液对大豆种子萌发具有显著的抑制作用。张子学等<sup>[8]</sup>认为  $\text{Zn}^{2+}$  浓度大

收稿日期: 2012-07-10

基金项目: 海南省自然科学基金资助项目(212021)。

第一作者简介: 徐娜(1989-), 女, 在读硕士, 研究方向为食品分析与检测。E-mail: shania\_1989@126.com。

通讯作者: 胡广林(1967-), 男, 博士, 教授, 主要从事生物微量元素与天然产物化学研究。E-mail: glhu@hainu.edu.cn。

于  $60 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  时会对大豆种子发芽和幼苗生长产生不利影响。在已报道文献中,尚未清楚阐明富锌大豆芽的培育是否需要外源锌(硫酸锌)浸种,以及外源锌浸种培育对大豆萌发、豆芽生长及锌强化效果的影响。本研究采用外源锌浸种培育大豆芽,并对大豆芽中锌的生物可利用性进行了评估,以期改进富锌大豆芽生产工艺提供参考。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

供试大豆(净度 99.77%、纯度 99.68%、发芽率 97.82%、含水量 8.79%,达到大豆原种国家标准)购自山东省临沂市兰山区南小岭村。

### 1.2 试剂与仪器

硫酸锌溶液( $\text{ZnSO}_4\cdot 7\text{H}_2\text{O}$  配制);人工胃蛋白酶溶液<sup>[9]</sup>;人工肠液<sup>[9]</sup>;胰液胆盐混合物<sup>[9]</sup>;透析袋(截留分子量 8 000 ~ 14 000 Da);硝酸、过氧化氢为 GR 级试剂;其余均为 AR 级试剂;实验用水均为去离子水。

北京普析 TAS-990 火焰原子吸收分光光度计;长沙长锦 CP-ST50A 恒温培养箱;上海沪越 101B 数显式电热恒温干燥箱;江苏国华 THZ-82 恒温振荡器;上海民桥 FA1004N 电子天平等。

### 1.3 方法

1.3.1 大豆种子吸水率的测定 参照张永清等<sup>[10]</sup>的方法。取 100 粒豆种,称重( $m_0$ ),分别用 20 mL 含锌量为 10、20、30、40、50、60、80、100  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  的硫酸锌溶液浸泡 8 h(25℃,恒温培养箱中),期间每隔 1 h 用滤纸吸干豆种表面水膜后称其湿重( $m$ ),计算 8 h 内豆种的吸水率。同时以去离子水为对照进行上述操作,3 次重复。豆种吸水率计算如下:

$$\text{豆种吸水率}(\%) = [(m - m_0)/m_0] \times 100$$

1.3.2 大豆芽的培育 精选豆种 100 粒,称重( $M_{100}$ )、清洗、消毒和烫种(50℃),并按“1.3.1”浸种 8 h 后,置于预先消毒处理过的塑料盒中避光催芽、培育。每隔 6 h 喷洒 1 次去离子水,第 5 天采收。同时以去离子水为对照,操作同上。

1.3.3 大豆芽生长指标的测定方法 参照张颖等<sup>[11]</sup>的方法。第 5 天采收时,统计各浓度处理下大豆芽的发芽数并称重其鲜重( $M_{\text{鲜}}$ ),计算发芽率和生物产率。之后各取样 10 根,称量其鲜重( $M_{\text{鲜}10}$ )后,于  $(60 \pm 1)^\circ\text{C}$  恒温干燥箱中干燥 6 h,称量其干重( $M_{\text{干}10}$ ),计算含水率。之后再各取样 10 根,切分成可食(子叶和下胚轴)、不可食(胚根)两部分,分别称量鲜重,测量长度,结果以 10 根大豆芽的平均

值表示。有关指标计算方法如下:

$$\text{发芽率}(\%) = \text{发芽豆种数}/100 \times 100$$

$$\text{生物产率}(\%) = M_{\text{鲜}}/M_{100} \times 100$$

$$\text{含水率}(\%) = [(M_{\text{鲜}10} - M_{\text{干}10})/M_{\text{鲜}10}] \times 100$$

1.3.4 大豆芽中锌的生物利用性评估 大豆芽采收后,用去离子水反复冲洗多次,切分为可食、不可食两部分,置于  $(60 \pm 1)^\circ\text{C}$  恒温干燥箱中干燥 6 h,然后用玛瑙研钵将其研磨成干粉,备用。

采用体外消化透析法评估大豆芽中锌的生物利用性,参照 González 等<sup>[12]</sup>和邹涛等<sup>[13]</sup>的方法并进行了部分改动。实验条件如下:0.25 g 大豆芽可食部分或不可食部分干粉于 25 mL pH1.5 的人工胃液中,加入 0.5 mL 胃蛋白酶溶液,在  $(37 \pm 1)^\circ\text{C}$ ,  $80 \text{ r}\cdot\text{min}^{-1}$  恒温水浴中振荡 100 min 后,加入 3 mL 胰液-胆盐混合物,透析 100 min,收集透析液及未透析残留物用火焰原子吸收光谱法测定锌含量,计算锌的生物可接受率。公式如下:

$$b_E = \frac{c_{E,D}}{c_E} \times 100\%; b_{IE} = \frac{c_{IE,D}}{c_{IE}} \times 100\%$$

式中, $b$  代表锌的生物可接受率, $E$ 、 $IE$  分别代表大豆芽可食部分、不可食部分, $c_{E,D}$ 、 $c_{IE,D}$  分别代表大豆芽可食部分、不可食部分透析液中的含锌量( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,以干重计), $c_E$ 、 $c_{IE}$  分别代表芽苗菜可食部分、不可食部分的含锌量( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ ,以干重计)。

### 1.4 数据处理

数据采用 3 次重复的平均值,结果用 SPSS 17.0 统计软件进行差异显著性分析(Duncan 多重比较,  $P=0.05$ )。

## 2 结果与分析

### 2.1 外源锌浸种对大豆种子萌发的影响

由图 1 可知,1~4 h 内各浓度处理下大豆吸水

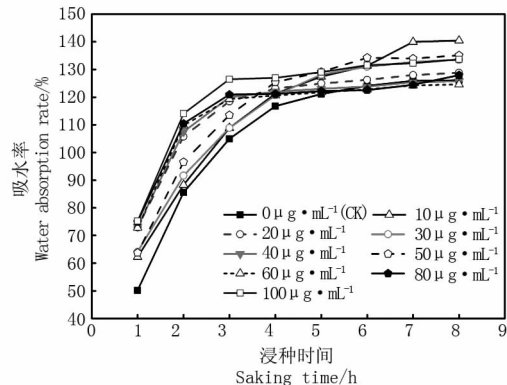
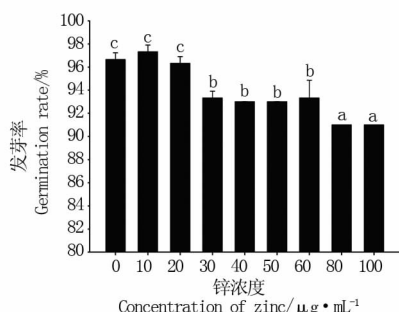


图 1 外源锌浸种对大豆种子吸水率的影响

Fig. 1 Influence of exogenous zinc soaking on water absorption rate of soybean seed

率(除  $10 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  浸种 2 h)均显著高于对照( $P < 0.05$ ), 5~8 h 除 10、30、50、 $100 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  浓度处理下大豆吸水率显著高于对照( $P < 0.05$ )外,其他浓度处理的大豆吸水率与对照无显著性差异( $P > 0.05$ )。浸种 8 h 后,  $10 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  浓度处理的豆种吸水率显著高于其他浓度处理( $P < 0.05$ ), 达到 140.49%。说明锌溶液浸种能够促进大豆种子吸水, 浸种液锌浓度为  $10 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  时, 吸水率达到最大值。



图中不同字母表示 0.05 水平上差异显著。图 3 同。

Different letters indicate significant difference at  $P = 0.05$  level according to Duncan's multiple test. The same in Fig. 3.

图 2 外源锌浸种对大豆种子发芽率的影响

Fig. 2 Influence of exogenous zinc soaking on germination rate of soybean seed

由图 2 可知, 10、 $20 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  锌溶液浸种处理下大豆种子发芽率与对照没有显著差异, 而 30 ~  $100 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  锌溶液浸种后大豆发芽率显著低于对

照( $P < 0.05$ ), 其中  $100 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  锌溶液浸种后大豆发芽率较对照降低 5.86%, 萌发明显受到抑制。

## 2.2 外源锌浸种对大豆芽生长的影响

大豆芽可食部分长度、不可食部分长度、鲜重、含水量和生物产率是评价大豆芽生长状况的指标。由图 3 可知, 浸种液中锌浓度在 10 ~  $100 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  范围内, 对大豆芽可食部分长度、不可食部分长度 (20、40、 $50 \mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  除外)、可食部分鲜重、不可食部分鲜重 (40  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  除外)、含水量 (100  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  除外) 和生物产率基本没有影响 ( $P > 0.05$ )。说明在实验浓度范围内, 锌溶液浸种对大豆芽的生长无明显的促进或抑制作用。

由图 3 可知, 浸种液中  $\text{Zn}^{2+}$  浓度超过 30  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  时, 豆种的萌发受到显著抑制, 但是不同浓度的锌溶液浸种后, 大豆芽可食部分长度 (图 3A)、可食部分鲜重 (图 3B) 和生物产率 (图 3D) 与对照均无明显差异。原因是浸种液中  $\text{Zn}^{2+}$  浓度超过 30  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  时豆种萌发虽受到抑制, 但是未萌发的豆种数量较少, 不足以对大豆芽整体的生长造成显著影响。而浸种液锌浓度为 20、40 和 50  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  时大豆芽不可食部分长度 (图 3A)、40  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  时不可食部分鲜重 (图 3B) 以及 100  $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  时含水量 (图 3C) 均与对照有明显差异, 可能是由于这些指标测定时大豆芽的取样量较少所致。

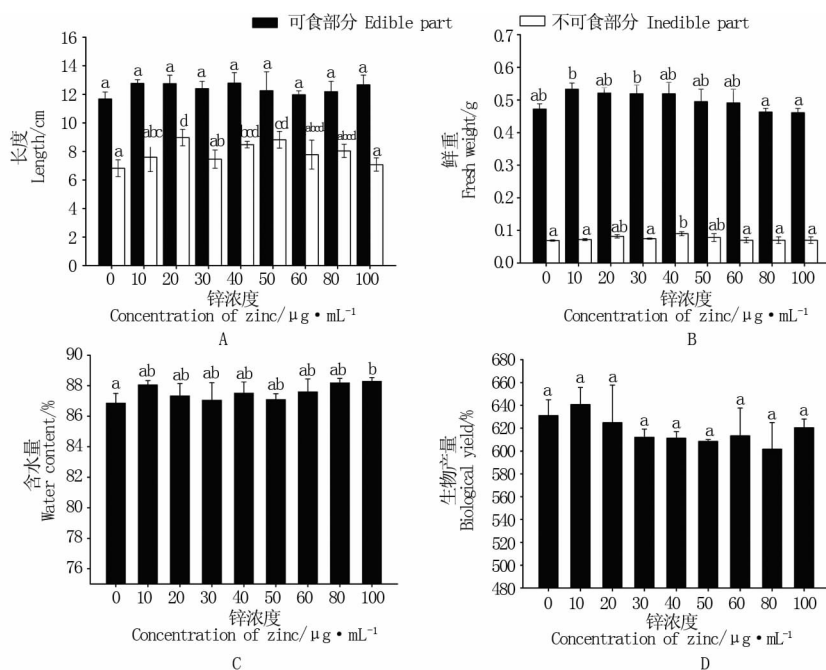


图 3 外源锌浸种对大豆芽生长的影响

Fig. 3 Influences of exogenous zinc soaking on soybean sprout growth

2.3 外源锌浸种对大豆芽锌积累的影响

由表 1 可知,不同浓度的锌溶液浸种后大豆芽可食部分、不可食部分的锌含量均显著高于对照( $P < 0.05$ ),且随着浸种液中锌浓度的增大呈增加趋势,其中  $100\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  锌溶液浸种后大豆芽可食部分含锌量达到  $194.18\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (干重),而不可食部分含锌量为  $356.98\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  (干重),显著高于对照。而同一浓度锌溶液浸种后培育的大豆芽中,不可食部分含锌量均高于可食部分。

2.4 外源锌浸种对大豆芽中锌的生物利用性的影响

模拟人体内消化环境得到的透析液中锌含量可看作是 人体对锌的生物可利用量。由表 1 可知,不同浓度的锌溶液浸种后培育的大豆芽,其可食部

分、不可食部分的生物可利用性锌含量存在差异,但均显著高于对照( $P < 0.05$ )。 $10\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  锌溶液浸种后,大豆芽可食部分、不可食部分锌的生物可接受率较对照分别提高了 19.59% 和 101.71%。利用大豆芽中锌的生物可接受率(bioaccessibility)来评估不同浓度锌溶液浸种后大豆芽中锌的生物利用性大小。可知,可食部分锌的生物利用性浸种锌浓度( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )排序为: $10 > \text{CK} > 20 > 60 > 30, 40 > 100 > 50 > 80$ ;不可食部分锌的生物利用性浸种锌浓度( $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )排序为: $30 > 10 > 20 > \text{CK} > 50 > 80 > 40 > 60 > 100$ 。而同一浓度锌溶液浸种后的大豆芽生物可利用性锌含量及锌生物可接受率则均表现为:不可食部分 > 可食部分。

表 1 大豆芽含锌量及锌的生物可接受率( $n = 3$ )

Table 1 Zinc content and bioaccessibility in soybean sprout( $n = 3$ )

锌浓度 Concentration of zinc/ $\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$	可食部分 Edible part			不可食部分 Inedible part		
	锌含量* Zinc content / $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	生物可利用性锌含量* Bioavailable zinc content/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	生物可接受率 Bioaccessibility/ %	锌含量* Zinc content/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	生物可利用性锌含量* Bioavailable zinc content/ $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	生物可接受率 Bioaccessibility/%
0	32.39 $\pm$ 0.23 a	0.95 $\pm$ 0.02 a	2.96 $\pm$ 0.08 e	74.61 $\pm$ 0.43 a	3.07 $\pm$ 0.02 a	4.09 $\pm$ 0.03 d
10	57.21 $\pm$ 1.56 b	2.03 $\pm$ 0.02 b	3.54 $\pm$ 0.09 f	105.11 $\pm$ 3.87 b	8.70 $\pm$ 0.06 d	8.25 $\pm$ 0.48 f
20	86.09 $\pm$ 2.94 c	2.19 $\pm$ 0.05 c	2.55 $\pm$ 0.07 d	118.26 $\pm$ 2.00 c	7.79 $\pm$ 0.48 c	6.59 $\pm$ 0.29 e
30	96.45 $\pm$ 1.16 d	2.08 $\pm$ 0.10 b	2.15 $\pm$ 0.08 c	126.81 $\pm$ 5.16 c	10.73 $\pm$ 0.21 f	8.46 $\pm$ 0.18 f
40	97.43 $\pm$ 2.57 d	2.09 $\pm$ 0.05 bc	2.15 $\pm$ 0.11 c	175.68 $\pm$ 4.01 d	6.02 $\pm$ 0.28 b	3.54 $\pm$ 0.01 bc
50	119.80 $\pm$ 3.88 e	2.20 $\pm$ 0.12 c	1.84 $\pm$ 0.11 ab	193.22 $\pm$ 8.26 e	7.21 $\pm$ 0.18 c	4.08 $\pm$ 0.24 d
60	134.78 $\pm$ 5.12 f	2.97 $\pm$ 0.07 e	2.20 $\pm$ 0.04 c	232.77 $\pm$ 7.62 f	7.34 $\pm$ 0.35 c	3.15 $\pm$ 0.05 ab
80	160.21 $\pm$ 3.51 g	2.72 $\pm$ 0.02 d	1.70 $\pm$ 0.02 a	292.71 $\pm$ 6.24 g	11.50 $\pm$ 0.59 g	3.98 $\pm$ 0.19 cd
100	194.18 $\pm$ 6.61 h	3.63 $\pm$ 0.03 f	1.87 $\pm$ 0.06 b	356.98 $\pm$ 3.62 h	10.10 $\pm$ 0.06 e	2.83 $\pm$ 0.05 a

\* 含量以干重计;表中数值为  $\bar{x} \pm s$ ;同列数据标有不同字母的表示差异具有显著性(Duncan 多重比较, $P = 0.05$ )。

Index with“\*” were calculated by dry weight. Each value represents the mean  $\pm$  standard deviation( $n = 3$ ). Values followed by different letter in the same column indicate a significant difference at  $P = 0.05$  level according to Duncan’s multiple test.

3 结论与讨论

种子萌发是大豆芽生长的基础和关键阶段。有研究表明, $\text{Zn}^{2+}$  浸种处理对大豆种子的萌发具有低浓度下的刺激效应和高浓度下的抑制效应<sup>[14]</sup>。本实验中,与对照相比,一定浓度的外源锌( $10\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )浸种后豆种的发芽率虽有略微提高,但对种子萌发和芽苗生长的促进效果不明显;而高浓度( $\geq 30\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )的锌溶液浸种可能破坏了豆种内部结构及酶的活性,表现均显著抑制种子萌发。

大豆芽中锌的富集量与外源锌浓度有重要关系<sup>[15]</sup>。本实验中,在对豆种萌发和芽苗生长没有显著影响的前提下,适当浓度( $10 \sim 20\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )的外

源锌浸种,不同程度地提高了大豆芽的含锌量,实现了外源锌在大豆芽中的富集。此外,本文还利用体外消化透析法评估了富锌大豆芽中锌的生物利用性,实验发现以适当浓度( $10\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$ )的外源锌浸种能够明显提高大豆芽中锌的生物可接受率,这意味着由浸种转运至大豆芽中的锌发生了生物转化,转变为有利于人体利用的形态。根据中国食品标签营养素参考值(Nutrient Reference Values, NRV;对 4 岁以上和成年人锌的 NRV 为  $15\text{ mg}\cdot\text{d}^{-1}$ ),对浸种锌浓度为  $10\text{ }\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$  的富锌大豆芽以  $100\text{ g}$  (鲜重)计算,可供给人体的锌占其 NRV 的百分数(NRV%)为 4.6%,食用后人体所摄取的锌为  $0.68\text{ mg}$ ,远低于我国居民膳食可耐受的最高摄入量(Upper Limit, UL;对 4 岁以上和成年人锌的

UL 分别为 23 和 45 mg·d<sup>-1</sup>), 由此表明: 本实验培育的富锌大豆芽可作为人体补锌的一种膳食来源; 按一般食用量摄取这种富锌大豆芽引起锌中毒的潜在健康风险极低, 因为锌元素由无机态转化为生物态时对人的安全性一般会得到提高。

## 参考文献

- [1] Brown K H, Wuehler S E, Peerson J M. The importance of zinc in human nutrition and estimation of the global prevalence of zinc deficiency[J]. Food and Nutrition Bulletin, 2001, 22(2): 113-125.
- [2] 杨振, 张磊, 邴爱英, 等. 富锌嫩麦芽培植最佳锌浓度的筛选[J]. 食品科技, 2011, 36(4): 280-282. (Zhang Z, Zhang L, Bing A Y, et al. The best zinc concentration to cultivate the zinc-rich tender malt[J]. Food Science and Technology, 2011, 36(4): 280-282.)
- [3] 邱清权, 张勇, 熊玉宝, 等. 缺锌对儿童健康的影响[J]. 广东微量元素科学, 2011, 18(2): 14-18. (Qiu Q Q, Zhang Y, Xiong Y B, et al. Influence of zinc deficiency on children's health[J]. Guangdong Trace Elements Science, 2011, 18(2): 14-18.)
- [4] 邹涛, 庞锦伟, 胡广林. 富锌大豆芽苗菜的生物强化研究[C]. 厦门: 第二届食品、药品质量与安全分析测试学术研讨会, 2011. (Zou T, Pang J W, Hu G L. Biofortification of zinc enriched soybean sprouts[C]. Xiamen: The 2<sup>nd</sup> Symposium on Food and Drug Quality and Safety Analysis, 2011.)
- [5] 赵树兰, 王修鲁, 刘秀美. 大豆芽强化铁锌钙的实验研究[J]. 天津师范大学学报(自然科学版), 2003, 23(2): 23-25. (Zhao S L, Wang X L, Liu X M. Experimental study on soybean sprouts (*Glycine max*) strengthening Fe<sup>3+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Ca<sup>2+</sup> [J]. Journal of Tianjin Normal University (Natural Science Edition), 2003, 23(2): 23-25.)
- [6] 吉礼, 车振明. 铁、锌富集营养豆芽的研制[J]. 食品工业科技, 2009, 30(6): 232-233. (Ji L, Che Z M. Preparation of iron and zinc enriched nutrition bean sprouts[J]. Science and Technology of Food Industry, 2009, 30(6): 232-233.)
- [7] 董杨, 陈学珍, 喜崇双, 等. 硫酸锌对大豆种子萌发的影响[J]. 北京农学院学报, 2011, 26(1): 61-62. (Dong Y, Chen X Z, Xi C S, et al. Effect of ZnSO<sub>4</sub> on seed germination of soybean[J]. Journal of Beijing University of Agriculture, 2011, 26(1): 61-62.)
- [8] 张子学, 胡能兵, 葛鑫波, 等. 微量元素对大豆种子发芽及其保护酶表达的影响[J]. 大豆科学, 2011, 30(2): 347-349. (Zhang Z X, Hu N B, Ge X B, et al. Effect of trace elements on germination and protective enzyme expression of soybean[J]. Soybean Science, 2011, 30(2): 347-349.)
- [9] 齐江宁, 胡广林, 庞京团, 等. 含朱砂口服中成药中汞的生物利用性及安全性评价[J]. 时珍国医国药, 2010, 21(11): 2749-2751. (Qi J N, Hu G L, Pang J T, et al. Bioaccessibility and risk assessment of mercury in Chinese patent medicines containing cinabar[J]. Lishizhen Medicine and Materia Medica Research, 2010, 21(11): 2749-2751.)
- [10] 张永清, 顾振新, 张颖, 等. 豆芽生产中大豆浸泡条件与吸水率和发芽率的关系研究[J]. 食品研究与开发, 2007, 28(11): 26-29. (Zhang Y Q, Gu Z X, Zhang Y, et al. Study on sucked water rate and sprout rate associated with soaking condition in soybean sprouts production[J]. Food Research and Development, 2007, 28(11): 26-29.)
- [11] 张颖, 赵晋铭, 顾振新, 等. 不同浓度碘处理对绿瓣大豆芽菜生长及营养素的影响[J]. 江西农业学报, 2008, 20(7): 39-42. (Zhang Y, Zhao J M, Gu Z X, et al. Effects of different iodine concentrations on growth and nutritive value of bean sprouts[J]. Acta Agriculturae Jiangxi, 2008, 20(7): 39-42.)
- [12] González R D, Hortas V R, Sartal C G, et al. Evaluation of an in vitro method to estimate trace elements bioavailability in edible seaweeds[J]. Talanta, 2010, 82(5): 1668-1673.
- [13] 邹涛, 王小红, 黄维钱, 等. 两种补硒产品中硒的测定及其生物可利用性评估[J]. 化学研究与应用, 2011, 23(8): 1106-1110. (Zou T, Wang X H, Huang W Q, et al. Determination of selenium in two Se supplements and estimation of their bioavailability[J]. Chemical Research and Application, 2011, 23(8): 1106-1110.)
- [14] Qu Y N, Zhou Q, Yu B J. Effects of Zn<sup>2+</sup> and niflamic acid on photosynthesis in *Glycine soja* and *Glycine max* seedlings under NaCl stress[J]. Environmental and Experimental Botany, 2009, 65(2-3): 304-309.
- [15] 陈尚铎, 邱业先. 不同锌铁浓度营养液对芽菜锌铁积累的影响[J]. 长江蔬菜, 2005, 19(11): 43-44. (Chen S X, Qiu Y X. Effects of different zinc and iron concentrations of nutrient solutions on the accumulation of zinc and iron in sprouts[J]. Journal of Changjiang Vegetables, 2005, 19(11): 43-44.)