

# 大豆对外源碘吸收与积累特性的研究

洪春来<sup>1,2</sup>, 翁焕新<sup>1\*</sup>, 严爱兰<sup>1</sup>, 谢伶俐<sup>1</sup>

(1. 浙江大学环境与生物地球化学研究所, 浙江, 杭州 310027; 2. 浙江省嘉兴市农业科学研究院, 浙江, 嘉兴 314016)

**摘要:**在盆栽和大田条件下,研究了大豆对外源碘(海藻固体碘肥)吸收、积累特性。结果表明,大豆体内碘含量均随着外源碘处理浓度提高而逐渐增加,但碘在大豆植株不同器官的分配存在明显的差异,表现为根>叶>茎>荚果;随着培养时间的延长,碘在可食部位积累逐渐增加,即碘的累积量表现为老豆>嫩豆,显示出碘具有向大豆可食部位持续积累的趋势。两种试验条件下对碘的吸收与积累存在差异,土培条件下大豆对外源碘的积累效应明显强于大田。在土培条件下,高浓度的外源碘( $\geq 100\text{mg/kg}$ )对大豆的生长发育表现出抑制作用,地上部的生物量显著下降,而田间试验条件下,不同外源碘添加量均未对大豆的生长产生显著的影响。

**关键词:**外源碘;碘缺乏症;大豆;吸收;积累

中图分类号:S565.101      文献标识码:A      文章编号:1007-9084(2008)01-0095-05

## Study on characteristics of iodine absorption and accumulation of vegetable soybean

HONG Chun-lai<sup>1,2</sup>, WENG Huan-xin<sup>1</sup>, YAN Ai-lan<sup>1</sup>, XIE Ling-li<sup>1</sup>

(1. Institute of Environmental and Biogeochemistry, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China;

2. Jiaxing Institute of Agricultural Science, Jiaxing 314016, China)

**Abstract:** Pot experiments and field experiment were conducted to study the characteristics on absorption and accumulation of iodine by vegetable soybean. The results showed that iodine concentration in vegetable soybean increased with additional iodine. Different parts of vegetable soybean had great difference in accumulation of iodine, the distribution of iodine in vegetable was in the following order: root > leaf > stem > fruit. The iodine concentration in vegetable soybean increased with extended time, the quantity of iodine accumulation was showed as: old soybean > young soybean, which indicated that the edible part had a tendency to absorb iodine from soil persistently. Compared with pot experiments, the vegetable soybean in the field absorbed and accumulated less iodine. The growth of vegetable soybean was restrained or poisoned at higher iodine concentration( $\geq 100\text{mg/kg}$ ) when cultivated in pot. But the high concentration of iodine had no significant effect on the growth of vegetable soybean in the field experiments.

**Key words:** Iodine; IDD; Soybean; Absorption; Accumulation

碘是合成甲状腺的必需元素,在人和动物体的新陈代谢过程中起着极为重要的作用<sup>[1]</sup>。缺碘会引起甲状腺肿大,婴儿缺碘会严重影响大脑发育造成智力残疾<sup>[2,3]</sup>。由于碘缺乏引起的疾病统被称为碘缺乏病(Iodine Deficiency Disorders, IDD)<sup>[4]</sup>,国内外的大量研究已经证明,目前除冰岛外,全世界所有国家都有 IDD 流行,大约有 16 亿人受到碘缺乏的

威胁<sup>[5]</sup>。我国所有省、市均有 IDD,病区人口达到 4.25 亿,严重影响了人民健康和社会发展<sup>[6,7]</sup>。

1994 年开始,我国政府采取了全民食用加碘盐的措施,取得了良好成效<sup>[8,9]</sup>。但是在多年的实践中也暴露出这种措施存在的缺陷,如食盐中添加的无机碘在运输和烹调等过程中易挥发损失,特别是由于碘具有双侧阈值的特点,从而使高碘病症发生

收稿日期:2007-06-11

基金项目:国家自然科学基金(40373043)作者简介:洪春来(1976-)男,博士研究生,主要从事微量元素健康与环境污染防治等方面的研究。

E-mail: hcl76212@sohu.com

\* 通讯作者: E-mail: gswenghx@zju.edu.cn

率有所提高<sup>[10~14]</sup>。在正常情况下,人体中碘的80%以上来自植物性食品,且通过从植物性食品中自然摄取有机碘的方式更有利于维持人体碘的平衡<sup>[15,16]</sup>。近些年来,用农业生物强化法培育微量元素富集型的植物性食品改善人体必需微量元素营养的研究有了显著的进展,如铁、锌、硒富集型水稻的培育成功为减少发展中国家国民微量元素缺乏症状的发生做出了贡献<sup>[16~18]</sup>,但是有关碘的生物强化方面的研究不多,特别是有关蔬菜对外源碘吸收和积累等方面的研究更少。本文选择海藻固体碘肥作为外源碘,通过土培和大田试验研究了菜用大豆对碘的吸收和积累特性,从而为筛选和培育富碘蔬菜提供理论和技术依据,这对海藻碘资源化利用新途径的开辟和生产化防治 IDD 具有重要的理论和实践意义。

1 材料与方法

1.1 供试材料

土培和大田试验的土壤为青紫泥,供试土壤中碘的含量为 2.02 mg · kg<sup>-1</sup>;全氮、全磷、全钾含量分别为 2.56 g/kg、0.704 g/kg、16.8 g/kg;碱解氮、速效磷、速效钾分别为 134.6 mg/ kg、29.5 mg/ kg、186.4 mg kg;阳离子交换量为 19.28 cmol/ kg;有机质 40.9 g/kg;pH 值 5.91。外源碘采用以硅藻土为载体的海藻固体碘肥<sup>[19]</sup>。试种菜用大豆品种为台湾 75 (Soybean *Vigna sesquipedalis*)。

1.2 试验方法

1.2.1 土培试验 土培试验在温室中进行,将土样过 3mm 筛,称取 3kg 与外源碘混匀,在移栽前施足基肥 (复合肥,N: P: K 为 15: 15: 15)。装入盆内 (材质:PS,规格为 15cm × 20cm × 18cm)使盆栽土壤含碘 (以 I 计) 分别为 0 (CK), 10, 25, 50, 100, 150mg/kg,加水使土壤的含水量为土壤最大田间持水量的 50%,整个试验期间以称重法适时添加去离子水,保持土壤的固定含水量。3 次重复。

挑选饱满圆润的大豆种子直接播种于土培盆中,每盆 4 粒种子,待种子出苗后,间苗,每盆留健壮幼苗 2 棵;生长期为 4 月 15 日至 7 月 18 日;期间于 6 月 22、6 月 30 号、7 月 10、7 月 18 号分 4 次采摘大豆可食部位,烘干后测定碘含量。最后于 7 月 18 号大豆植株全部收获,样品用去离子水洗干净后,用吸水纸吸干表面水,分别称单株可食部位 (豆粒) 和地上部的鲜重后区分根、茎、叶、荚果,于 50℃ 恒温条件下烘干,粉碎过 0.613mm 筛,测定大豆各部分的总碘含量。

1.2.2 大田试验 大田试验也与土培试验同时进行,海藻固体碘的处理浓度 (以 I 计) 分别为 0 (CK)、15mg/m<sup>2</sup>、35mg/m<sup>2</sup>、75mg/m<sup>2</sup>、150mg/m<sup>2</sup>,碘肥采用沟施,施足基肥 (复合肥,N: P: K 为 15: 15: 15,300kg/hm<sup>2</sup>),期间分别用复合肥追施 2 次,大豆播种密度为行距 0.6m,株距为 0.3m。每小区 3m<sup>2</sup>,重复 3 次。与土培一样同时取样测定大豆体内各部分碘含量。

1.3 测定方法

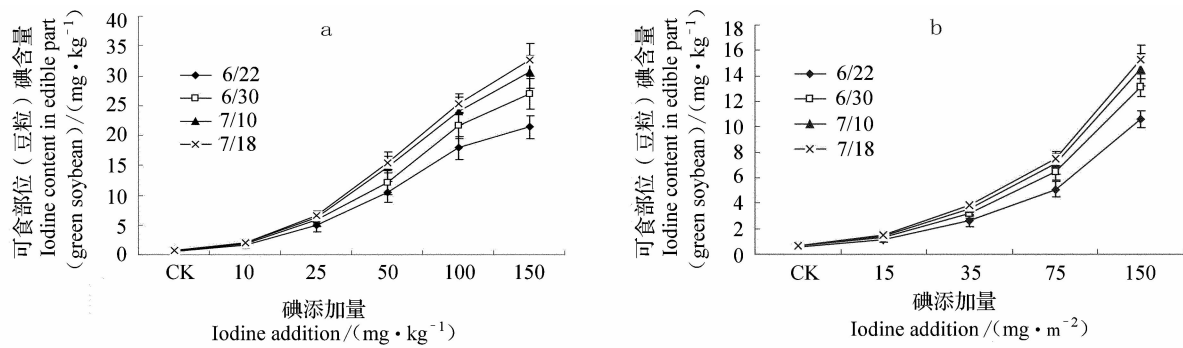
土壤理化性质的测定参照鲁如坤的文献<sup>[20]</sup>;土壤碘含量按汪建飞的方法<sup>[21]</sup>;蔬菜体内碘含量的测定采用硫氰酸铁-亚硝酸催化动力法<sup>[22]</sup>。

2 结果与讨论

2.1 大豆可食用部位对外源碘吸收的动态变化

图 1 显示了大豆可食部分中碘的含量随外源碘添加量及时间的变化。从图中可以看到,无论是在盆栽 (土培) 还是田间试验条件下,大豆可食用部位 (青豆) 碘的含量均随着土壤中海藻固体碘添加量的提高而增加。相比不施碘的处理 (CK),大豆体内碘的含量表现为在外源碘低浓度处理下增加迅速而随着碘添加量的逐渐提高其增加幅度趋缓。不同试验条件对大豆吸收与积累碘的效果具有显著的影响,在盆栽条件下,大豆可食用部位碘的含量相对更高,而田间试验条件下大豆对碘的吸收能力较弱,至最高处理浓度时,盆栽栽培方式下大豆可食部位碘的含量达到 32.6mg/kg,而田间条件下大豆碘含量为 15.3mg/kg,仅是土培条件下的 47%。究其原因可能是由于土培条件下,碘与土壤混合均匀,大豆根系接触碘的有效面积大,而田间状况下,碘肥采用开沟集中施的方式导致了大豆根系所能有效接触土壤中碘的面积相对较小。另一方面,外源碘在田间条件下可能更易向地下淋溶,这样大豆根层土壤中碘的含量下降也直接影响了大豆植株对土壤中碘的吸收及向大豆可食用部位的累积。

从图 1 上还可以看出不同取样时间大豆可食用部位碘的含量也不一样,随着取样时间的延长大豆可食用部位碘的含量呈现逐渐增加的趋势,即表现出老豆 > 嫩豆。表明大豆可食用部位对碘的吸收与积累是一个持续不断的过程,但豆荚生长发育前期对碘的吸收与积累速度大大高于后期,因而在碘富集型大豆的培育过程中,适当延长大豆生长期或掌握合适的采摘时间有利于碘在可食用部位的累积。此外,碘在大豆中的持续积累特性对于富碘大豆的生产和加工也是十分有利的。



注: “a” 盆栽; “b” 大田 (下同)。  
Note: “a” denote pot culture; “b” denote field culture (same as below)

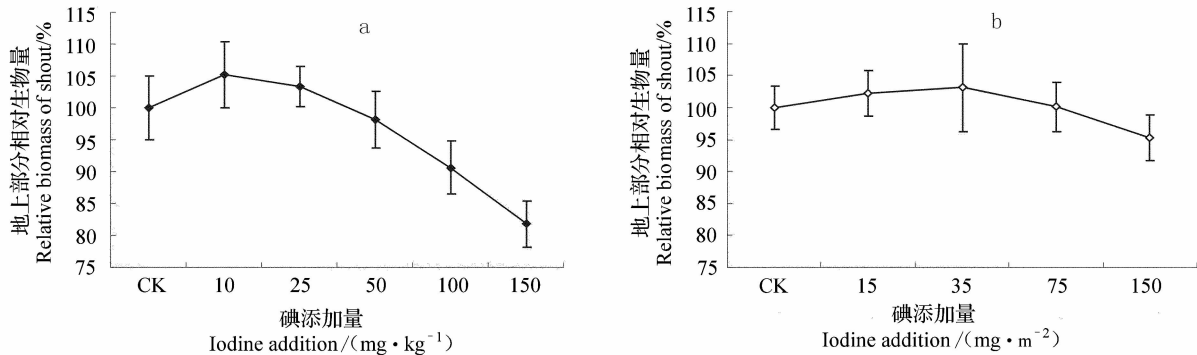
图1 外源碘添加对大豆可食部位碘含量的影响

Fig. 1 The content of iodine in edible part of soybean under iodine addition

2.2 外源碘对大豆植株生长发育的影响

图2显示了不同外源碘浓度下大豆地上部分生物量的变化。由图2可见,在田间条件下当前外源碘添加量没有对大豆生长产生明显的影响。而在盆栽条件下,低浓度的外源碘(小于100mg/kg)对大豆的生长发育没有明显的影响,但随着处理浓度的提高,碘对大豆的毒害作用逐渐开始显现,如在外源碘浓度达到100mg/kg时,地上部分的生物量与对照相比有明显下降,当土壤中外源碘达到最高处理浓度时,大豆地上部分的生物量下降至仅为对照(CK)的81%。此外通过对大豆生长发育的观察记载,也发现盆栽条件下高浓度碘处理使大豆植株表现出主根变短,须根变少,植株变矮,下部老叶黄化以及结

荚量变少,大豆粒型偏小等受害症状。如果以地上部分生物量下降10%为标准计算,碘施入对大豆毒性的临界值为100mg/kg,比其它研究者所得出的结果要高<sup>[15]</sup>,究其原因首先是不同作物本身对碘的敏感性存在差异;其次是现有研究中大多采用无机形态的碘(主要是I<sup>-</sup>)作为外源碘,而无机形态的碘在土壤中呈高度游离态,对植物的有效性相当高,因而在较低浓度下就容易对作物产生毒害作用。而本试验选用海藻固体碘肥作为外源碘,海藻固体碘肥中的碘存在于有机体中,随着有机体的分解而逐步得到释放,所以是一种缓效性的外源碘,不容易对作物产生毒害效应。



注: 相对生物量 = 处理地上部分生物量/不加碘地上部分生物量 × 100%

Note: Relative biomass = the biomass of shoot/ the biomass of shoot without iodine addition (CK) × 100%

图2 外源碘添加下大豆地上部分相对生物量变化

Fig. 2 The change of relative biomass of shoot under iodine addition

2.3 外源碘对大豆不同器官富碘效应的影响及大豆作为富碘蔬菜栽培的可能性

图3显示了大豆不同器官对土壤中碘吸收和分配的差异。由图3可知,与大豆可食用部位一致,大豆各器官对碘的吸收和积累量也均随着外源碘添加量的增加而提高,但不同器官吸收和积累碘的能力存在明显差异,其中大豆根部碘的含量最高,在盆栽条件下大豆根部碘的含量分别是叶片和茎的1.8~

5.3倍和1.5~4.5倍,在田间条件下则为1.7~4.9倍和1.4~3.3倍。大豆荚果含量最低,在盆栽和田间栽培条件下分别仅为根部碘含量的13.3%和15.1%,碘在大豆植株这种分配特征与碘在其它作物上的研究结果较为一致<sup>[23,24]</sup>。刘晓红等采用同位素示踪技术研究了碘在水稻中的分布,认为水稻各器官<sup>125</sup>I的比活度大小顺序为:根>茎>叶>谷粒<sup>[25]</sup>。这是因为碘主要是从木质部运输而很少向

韧皮部运输,因此导致种子内碘的积累较少<sup>[26]</sup>。

人体所需要的碘主要来自食物,菜用大豆是人们非常喜爱的一类营养丰富的蔬菜和休闲食品,日常消费量很大。如果把大豆作为一种富碘蔬菜栽培,容易被广泛接受,从而满足不同人群的补碘需求。本试验结果表明,通过土壤施碘,每百克鲜豆(含水量为63%)中碘的含量可达0.7~20 μg之间,根据联合国卫生组织推荐的每日碘的摄取量:10岁以下儿童为40~120μg,成人 为150μg,孕妇为

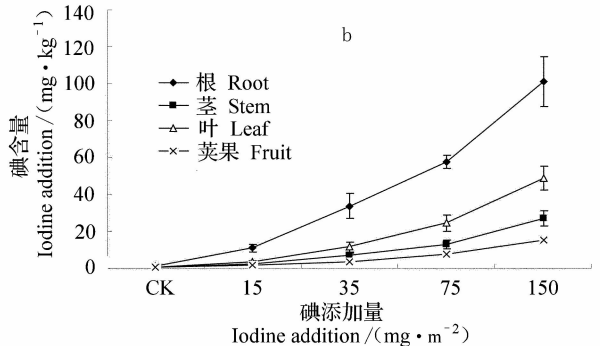
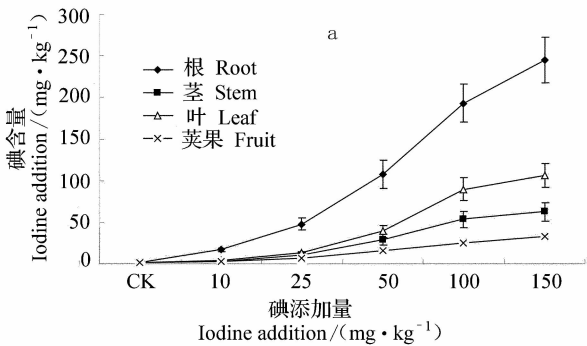


图3 外源碘添加下大豆各部分碘含量  
Fig. 3 The content of iodine in different parties of soybean under iodine addition

3 结论

大豆可食部位碘的含量随着外源碘添加量的增加而提高,且随着培养时间的延长大豆可食用部位碘的含量具有持续增加的趋势,盆栽条件下大豆可食用部位碘的含量远高于田间条件下所培育的大豆碘的含量。

大豆不同器官均具有从土壤吸收与积累碘的能力,大豆所吸收的碘在不同器官的分配总体表现为根>叶>茎>荚果。

在盆栽条件下,低浓度外源碘对大豆生长发育没有明显的影响,随着处理浓度的提高至碘外源碘处理浓度大于或等于100mg/kg时,大豆植物表现出一定的受害症状,大豆地上部生物量显著下降。而在田间试验条件下外源碘处理均未对大豆的生长发育产生明显的影响。

本试验的研究结果表明,通过控制富碘大豆的食用量所摄取的碘完全可以满足不同人群每日对碘的需求,因而以海藻固体碘肥作为外源碘添加剂培育富碘大豆从而补充缺碘地区人体碘含量,防治IDD的发生具有明显的现实意义。

参考文献:

[1] Knap G, Maicin B, Fecher P, et al. Iodine determination in biological materials options for vsample preparation and final determination[J]. Fresenius J Abak. Chem,

175μg,乳母为200μg<sup>[27]</sup>,就可以通过控制食用一定含量的富碘大豆进行补充。此外,由本试验结果可知,与可食用部位相比,大豆其它器官对碘的积累量更高,这也为以大豆秸秆作为饲料的动物提供了丰富碘的补充,而这些碘最终又会以动物产品如肉、蛋等形式通过食物链途径转移到人类的身体中。因此,以大豆作为富碘作物材料可以满足动物和人类对碘的需求,具有明显的应用价值。

1998,362: 508-513.  
[2] 吴求亮,杨玉爱,谢正苗,等. 微量元素与生物健康[M]. 贵阳:贵州科技出版社,2000.  
[3] 于福贵. 我国补碘状况及补碘新途径的探讨[J]. 中国地方病防治杂志,2004,19(4):217-221.  
[4] Hetzel B S. Iodine deficiency disorders (IDD) and their eradication[J]. Lancet,1983,2:1126-1129.  
[5] Shohei Harada, Naoshi Ichihara, Junri Arai,et al. Influence of iodine excess due to viodine-containing antiseptics on neonatal screening for congenital hypothyroidism in Hokkaido prefecture, Japan[J]. Journal of the International Society of Neonatal Screening, 1994(3):115-123.  
[6] 吴世汉,邢光熹. 我国主要土壤类型中溴和碘的分布特征[J]. 土壤,1996(1):21-23.  
[7] 郑宝山,王滨滨,朱广伟,等. 大气与植物中碘的环境地球化学-综述与新的假说[J]. 地学前缘,2001,8(2):359-365.  
[8] 陈祖培. 全民食盐加碘的意义及当前人群碘营养状况的基本评价[J]. 中国地方病杂志,2002,17(4):251-254.  
[9] De Long R, Leslse P W, et al. Effect on infant mortality of iodination of irrigation water in a serverely iodine-dificent area of China[J]. Lancet, 1997, 350(13): 771-773.  
[10] 刘会媛,白鹤英. 加碘食盐中碘损失的实验研究[J]. 中国井矿盐,2004(5):43-45.  
[11] 石磊,周瑞华,王光亚. 食物烹调方法对含碘食盐

- 中碘含量的影响[J]. 卫生研究,1998,27(6):412 - 414.
- [12] 周永林,江庆远,吴民义,等. 食盐加碘对轻度缺碘地区甲状腺功能亢进症患者住院率的影响[J]. 中国地方病学杂志, 2003,22(6):530 - 531.
- [13] 王凤军,徐曼,武首先,等. 普遍食盐加碘与结节性甲状腺肿继发甲亢的相关性[J]. 外科理论与实践, 2003,8(4):333 - 334.
- [14] 徐卫民,王国华,金达丰,等. 轻度缺碘人群补碘后甲亢发病情况调查[J]. 中国地方病学杂志,1999,18(6):453 - 455.
- [15] 黄益宗,朱永官,胡莹,等. 土壤-植物系统中的碘与碘缺乏病防治[J]. 生态环境,2003,12(2):228 - 231.
- [16] 刘勤,张新,赵言文,等. 土壤植物营养与农产品品质及人畜健康关系[J]. 应用生态学报,2001,12(4):623 - 626.
- [17] Ross M Welch. Agriculture: the real nexus for enhancing bioavailable micronutrients in food crops[J]. Journal of Trace Elements in Medicine,2005(18): 299 - 307.
- [18] Maria J Salgueiro BS, Marcela B Zubillaga, Alexis E Lysionek BS, et al. The role of zinc in the growth and development of children[J]. Nutrition, 2002; 18: 510 - 519.
- [19] 翁焕新,蔡奇雄. 一种含碘复合肥的制造方法[P], 发明专利, 专利号: ZL94108836.7, 1998.
- [20] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京:中国农业出版社,1999.
- [21] 汪建飞,段立珍,刘乃会. 方法反应比色法测定土壤中微量碘[J]. 分析实验室,1999,18(6):71 - 73.
- [22] GB/T 13882 - 92 硫氰酸铁-亚硝酸催化动力学测定饲料中的碘. 北京:中国标准出版社, 1992.
- [23] Zhu Y G, Huang Y Z, Hu Y, et al. Iodine uptake by spinach plants grown in solution culture: effects of iodine species and solution concentrations[J]. Environmental International, 2003,29:33 - 37.
- [24] Sheppard S C, Evenden W G. Response of some vegetable crops to soil-applied halides[J]. Can J Soil Sci, 1992,72:555 - 567.
- [25] 刘晓红,刘琼英,邝炎华,等. 碘-125 在华南亚热带地区土壤中淋溶和迁移的研究[J]. 核农学报,1998,12(3):171 - 174.
- [26] Herrett R A, Hatfield Jr H H, Crosby D G, et al. Leaf abscission induced by the iodine ion[J]. Plant Physiol, 1962(37):358 - 363.
- [27] Ziegler E E, Filer L J Jr. 闻芝梅,陈君石译. 现代营养学(第七版)[M]. 北京:人民卫生出版社,1998. 361 - 365.