

# 硒对苦荞硒、总黄酮和芦丁含量、分布与累积的影响

田秀英<sup>1,2</sup>, 王正银<sup>1\*</sup>

(1 西南大学资源环境学院, 重庆 400716; 2 重庆文理学院生命科学系, 重庆 402168)

**摘要:** 采用盆栽试验探讨土壤施硒对苦荞硒、总黄酮和芦丁含量、分布与累积的影响。结果看出, 在土壤施硒 0.5~2.0 mg/kg 范围, 苦荞根在苗期(40 d)大量吸收并累积硒, 全生育期各器官硒含量极显著提高; 在生长中后期(60~80 d)硒的累积最快, 累积量最多。硒在苦荞各器官中的分布为: 在 40 d 时, 根 > 叶 > 茎; 60 d 时 Se 0 处理为叶 > 根 > 花 > 茎, 施硒各处理则为花 > 根 > 叶 > 茎; 80 d 时 Se 0 处理以花 > 根 > 叶 > 茎 > 子粒, Se 0.5 处理以花 > 叶 > 子粒 > 茎 > 根; 施硒  $\geq 1.0$  mg/kg 的处理则为花 > 叶 > 茎 > 根 > 子粒。土壤施硒  $\leq 1.0$  mg/kg 促进苦荞生长, 提高地上部各器官干重和植株总干重以及各器官总黄酮和芦丁含量与累积量, 不改变总黄酮和芦丁的器官分布, 增加苦荞中后期对总黄酮的累积; 以 Se 0.5 处理效应最佳, 各差异达显著水平。过量的硒(Se 1.5~2.0 mg/kg)显著抑制苦荞生长, 降低各器官干重、总黄酮和芦丁含量与累积, 不利于硒在子粒中富集和总黄酮在子粒中的分布。表明在低硒土壤上栽培苦荞, 土壤施硒以不超过 1.0 mg/kg 为宜, 既能最大限度地提高苦荞各器官硒、总黄酮和芦丁含量和累积量, 又可降低施用硒肥的成本和减少硒肥对环境的影响。

**关键词:** 硒; 苦荞; 总黄酮; 芦丁

中图分类号: S143.7; S517

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2008)04-0721-07

## Effects of selenium application on content, distribution and accumulation of selenium, flavonoids and rutin in tartary buckwheat

TIAN Xiu-ying<sup>1,2</sup>, WANG Zheng-yin<sup>1\*</sup>

(1 College of Resource and Environment, Southwest University, Chongqing 400716, China;

2 Department of Life Science, Chongqing University of Arts and Sciences, Chongqing 402168, China)

**Abstract:** Besides its high nutritional value, buckwheat is also rich in many kinds of flavonoids such as rutin and quercetin in its leaves, stems, flowers and seeds, which can serve as very useful resources for high-quality flavonoids. Flavonoids are known for their effectiveness in antioxidant activity and reducing cholesterol levels in blood, keeping capillaries and arteries strong and flexible, and preventing against high blood pressure. It was also used to treat many other chronic diseases, such as cardiovascular diseases. Selenium is one of the indispensable nutrient elements to humans and poultry, but 2/3 of the world lacks it and so does China, 1/3 of which is considered to be critically deficient in selenium. Over 40 kinds of humans and poultry diseases are related to deficiency of Se, this seriously threatens the health of humans and the development of animal husbandry. Plant is the key link through which the inorganic Se is converted into organic Se and it is also the most direct Se resource for human beings and poultry. Se application to soil or plant directly can increase Se content in plant, which is the most effective method to improve the deficient Se status of humans. A pot experiment was used to explore the effect of selenium in the form of sodium selenite with five levels (0, 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0 mg/kg, soil) on distribution and accumulation of selenium, flavonoids and rutin in different organs of tartary

收稿日期: 2007-06-13 接受日期: 2007-11-19

基金项目: 重庆市科学委员会自然科学基金项目(CSTC 2007BB1457)资助。

作者简介: 田秀英(1965—), 女, 四川广安人, 教授, 博士研究生, 主要从事植物营养与生理生化研究。E-mail: cqflower@163.com

\* 通讯作者 Email: wangzy@swau.edu.cn

buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.). The results showed when application of Se was in the range of 0.5–2.0 mg per kg soil, tartary buckwheat absorbed and accumulated a large amount of Se by root at seedling stage, and the Se content in all organs of tartary buckwheat were decreased in order of root > leave > stem in the 40 days of tartary buckwheat growth, leave > root > flower > stem in Se 0 treatment and flower > root > leave > stem in all Se treatments in the 60 days of tartary buckwheat growth, while it was the highest in flower, followed by root, leave, stem and seed at Se 0 treatment, flower > leave > root > seed > stem at Se 0.5 treatment and flower > leave > root > seed > stem with Se application  $\geq 1.0$  mg per kg soil in the 80 days of tartary buckwheat growth. Treated with Se  $\leq 1.0$  mg per kg soil, the growth, dry matter weight, the content and accumulation of flavonoids and rutin in all organs were enhanced, and the accumulation of flavonoids at the middle and last growing stage was improved and the distribution of flavonoids in different tartary buckwheat organs was not affected. Application of Se at 0.5 mg/kg was the best treatment. The accumulation of flavonoids in tartary buckwheat was highest and fastest in the blooming and breeding period (60 d) in all treatments. Excessive Se treatment (1.5–2.0 mg/kg) significantly decreased the growth, dry matter weight, and content and accumulation of flavonoids and rutin in all organs of tartary buckwheat, and restricted the transformation of Se from other organs to seed and the distribution of flavonoids in seed. In summary, for tartary buckwheat planted in low Se soil, Se application less than 1.0 mg per kg soil can promote plant growth, increase content and accumulation of Se, flavonoids and rutin in all organs of tartary buckwheat and be friendly to the environment.

**Key words:** selenium; tartary buckwheat; flavonoids; rutin

苦荞 (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) 又称鞑靼荞麦) 属蓼科荞麦属, 是一种独特的食药两用粮食作物。黄酮类化合物是苦荞最主要的生物活性物质, 有抗氧化活性<sup>[1]</sup>和清除自由基的能力<sup>[2-3]</sup>, 能明显降低血糖和血脂<sup>[4-6]</sup>、防癌抗癌、调节心血管、内分泌和免疫系统, 护肝<sup>[7]</sup>、抑菌和抗病毒等。芦丁是苦荞黄酮的主要成分, 约占总黄酮的 80%, 具有降低毛细血管通透性、维持血管正常的渗透压, 保持和恢复毛细血管正常弹性的作用, 临床上主要用于糖尿病、高血压的辅助治疗<sup>[8]</sup>。迄今, 国内外提取芦丁的主要原料为槐花, 资源较稀少, 不能充分满足市场需求, 而苦荞生育期短, 耐瘠薄, 适应性广, 且其根、茎、叶、花和果实中富含芦丁、槲皮素等黄酮类化合物<sup>[9]</sup>, 是提取生物黄酮的优质原料。

硒作为动物和人体必需微量元素, 具有多种生物学功能。据统计, 全世界有 2/3 的地区为缺硒或低硒区, 我国也有 72% 的低硒或缺硒地区。目前, 硒缺乏所导致的人、畜 40 多种疾病已引起广泛关注<sup>[10-11]</sup>。利用植物能够吸收和富集外施无机态硒, 并将其转化为安全、有效的生物有机态硒, 开发富硒食品已成为当前保健食品研究的重要课题。研究证明, 通过施硒或叶面喷硒, 既能使玉米、小麦、大豆、水稻、油菜、茄子、小白菜、番茄和黑麦草等增产优质, 又能提高有机硒含量<sup>[12-19]</sup>, 这对缺硒地区人们补充硒营养、治疗和预防硒缺乏症具有非常重要的应用价值。但硒在苦荞上的应用目前未见报道。为

此, 研究了不同水平硒对苦荞硒、总黄酮和芦丁含量、分布与累积的影响, 旨在为生产苦荞功能食品与保健品提供理论依据, 为提取生物类黄酮提供优质原料。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验方法

盆栽试验用土为沙溪庙组紫色母岩发育的红棕紫泥, pH 7.5, 有机质含量 17.63 g/kg, 碱解氮 67.3 mg/kg, 速效磷 30.0 mg/kg, 速效钾 150 mg/kg, 土壤全硒含量 0.24 mg/kg, 有效硒含量 0.016 mg/kg。供试作物为苦荞 (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.), 品种为黄荞一号, 由重庆市合川区农技中心提供。

试验在西南大学资源环境学院盆栽场进行。用 20 cm × 14 cm 塑料盆, 每盆装过 2 mm 筛风干土 2.5 kg。试验设 5 个硒水平: Se 0, 0.5, 1.0, 1.5, 2.0 mg/kg, 分别用 Se 0, Se 0.5, Se 1.0 和 Se 2.0 表示。各处理重复 10 次, 随机排列。硒源为分析纯 Na<sub>2</sub>SeO<sub>3</sub>, 氮 (N)、磷 (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) 和钾 (K<sub>2</sub>O) 基础肥料用量分别为 100、50 和 100 mg/kg, 肥料品种为尿素 (N 46%)、磷酸二铵 (N 16%、P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 48%)、硫酸钾 (K<sub>2</sub>O 50%)。硒与磷、钾肥全部基施, 氮肥分 3 次施用, 40% 作基肥, 苗期和初花期各追肥 30%。将苦荞种子在 25℃ 恒温下催芽 2 d, 每盆播入发芽一致的种子 8 粒, 待生长至 2 叶时定苗 5 株, 常规管理。在 40、60、80 d 时取样, 将植株样品按器官分开, 在 80℃

下杀酶 15 min,65℃烘干、称重,并磨细过 0.5 mm 筛。按韩玉珠<sup>[20]</sup>的方法,用甲醇超声振荡提取,UV-VI8500 紫外分光光度计测定样品中总黄酮含量,用 Amershan Biosciences 公司生产的 AKTA explorer10s 高效液相色谱仪测定芦丁含量;按张艳玲等<sup>[21]</sup>的方法,用石墨炉电源原子吸收分光光度法测定样品硒含量。

试验数据采用 Excel 软件和 DPS3.01 软件进行分析,用 Duncan 新复极差法进行多重比较。

## 2 结果与分析

### 2.1 对苦荞植株及各器官干重的影响

图 1 表明,各处理苦荞植株总干重顺序为:Se 0.5 > Se 1.0 > Se 0 > Se 1.5 > Se 2.0。苦荞植株干重以茎和叶为主体,两器官干重占整株干重的 73%~78%,其次为种子,占 7.35%~17.72%。土壤施硒使根的干重随硒浓度的增加逐渐降低,根冠比逐渐变小(0.152、0.094、0.089 和 0.063)。施硒 ≤ 1.0 mg/kg 时,地上部各器官干重均不同程度提高,以施硒 0.5 mg/kg 效果最好,显著提高茎、叶、花和子粒等器官干重。施硒 Se > 1.0 mg/kg 时,各器官干重显著降低。表明适量的硒不仅促进了苦荞生长从而提高植株总干重,而且降低了根干重,调节了根冠比,以保持苦荞营养生长与生殖生长的适度,促进了子粒的形成以提高经济产量。硒过量则显著抑制苦荞生长,降低各器官干重。

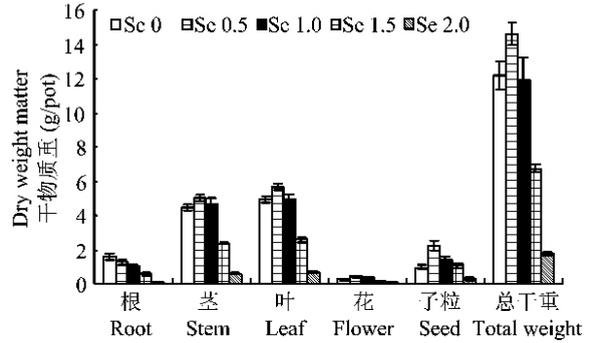


图 1 成熟期苦荞植株及不同器官干物质重

Fig.1 The dry matter of plant and different organs of tartary buckwheat at maturity

### 2.2 对不同生育期苦荞各器官硒含量与分布的影响

施硒使苦荞各器官硒含量在全生育期均极显著高于不施硒处理(表 1)。根的硒含量在生长 40 d 时随施硒量的增加几乎成倍增加,其余时期各器官在施硒大于 0.5 mg/kg 时增加幅度较小。硒在各器官中的含量顺序:40 d 时为根 > 叶 > 茎;60 d 时,Se 0 处理为叶 > 根 > 花 > 茎,而施硒各处理则为花 > 根 > 叶 > 茎。表明施硒有利于苦荞在开花结实期将硒从营养器官向花器官转移。80 d 时,Se 0 处理的花 > 根 > 叶 > 茎 > 子粒,Se 0.5 处理的花 > 叶 > 子粒 > 茎 > 根,施硒 ≥ 1.0 mg/kg 各处理则为花 > 叶 > 茎 > 根 > 子粒。表明适量的硒有利于苦荞在生长后期

表 1 硒对苦荞不同生育期各器官硒含量与分布的影响(μg/g)

Table 1 Effect of Se application on content and distribution of Se in all organs of tartary buckwheat at different growing stages

处理 Treatment	根 Root			茎 Stem			叶 Leaf			花 Flower		子粒 Seed
	40 d	60 d	80 d	40 d	60 d	80 d	40 d	60 d	80 d	60 d	80 d	
Se 0	0.71 e	0.80 d	1.29 d	0.12 d	0.18 e	0.81 e	0.60 e	0.87 e	0.73 d	0.34 e	2.11 c	0.65 b
Se 0.5	8.85 d	8.17 c	6.51 c	4.72 c	4.78 d	6.87 d	6.30 d	7.19 d	8.24 c	7.21 d	9.16 b	7.19 a
Se 1.0	14.26 c	9.01 b	8.91 ab	5.05 c	5.47 c	8.57 c	6.70 c	7.76 c	10.77 b	13.09 c	12.16 a	8.14 a
Se 1.5	23.52 b	10.37 a	8.43 b	6.69 b	7.51 b	9.26 b	7.34 b		16.63 b	12.13 a	8.15 a	
Se 2.0	31.16 a	10.92 a	9.40 a	7.44 a	8.04 a	11.05 a	8.52 a	8.95 a	11.39 a	19.73 a	11.89 a	8.18 a

注(Note):不同字母表示差异达 5% 显著水平,下同 Different letters mean significant at 5% level. The same below.

将硒从根和茎转移到子粒,硒过低和过高均不利于硒向子粒转移。

在不同生育期,苦荞各器官硒含量随施硒量的不同而异。不施硒处理的根、茎和花的硒含量变化趋势一致,均随生育进程逐渐增加;叶的硒含量在 60 d 前随生长发育而增高,60 d 后逐渐降低。施硒各处理的根硒含量在苗期(40 d)最高,随后下降,成

熟期(80 d)最低,茎和叶的硒含量均随生育进程逐渐增加,花除 Se 0.5 处理外均在开花结实的旺盛时期(60 d)最高,成熟期降低。表明土壤施硒使苦荞在苗期大量吸收硒,并累积在根中,随生长时间的延长,硒逐渐转运到地上部各器官。

### 2.3 对苦荞硒累积动态的影响

表 2 看出,在苦荞全生育期,施硒显著提高硒的

累积量和累积速率。生长 40 和 60 d 时,以 Se 0.5 处理最高,80 d 时以 Se 1.0 处理最高;随施硒量的进一步升高,硒的累积量和累积速率均逐渐下降。说明低浓度硒能显著提高苦荞对硒的富集,过量的硒尽管能提高苦荞各器官硒含量,但由于生长受抑制,生物量减少,硒的累积速率仍减慢,累积量减少。

表 2 还看出,不同生育期各处理苦荞的硒累积因硒水平的不同差异明显。施硒  $\leq 1.5$  mg/kg 时,在

生长前 40 d,硒累积速率低,为 0.02 ~ 0.16  $\mu\text{g}/(\text{pot}\cdot\text{d})$ ,阶段相对累积率为 9.33%~19.12%,可能是由于苦荞苗期生长缓慢,干物质积累少;生长中后期(60~80 d)累积量大、速率快,达到 0.22 ~ 3.46  $\mu\text{g}/(\text{pot}\cdot\text{d})$ ,阶段相对累积率达 35%~58%。施硒 2.0 mg/kg 时,硒累积在 60 d 前随生育进程逐渐升高,后期因生长受抑制而降低。

表 2 硒水平对不同生长期苦荞硒累积动态的影响

Table 2 Effect of different Se treatments on the trend of flavonoids accumulation in tartary buckwheat at different growing stages

处理 Treat.	阶段积累量 Period accum. ( $\mu\text{g}/\text{pot}$ )			累积速率 Speed of accum. [ $\mu\text{g}/(\text{pot}\cdot\text{d})$ ]			阶段相对累积率 Period accum. ratio (%)			累积量 Accumulation amount (mg/pot)			相对累积率 Relative ratio (%)		
	40 d	60 d	80 d	40 d	60 d	80 d	40 d	60 d	80 d	40 d	60 d	80 d	40 d	60 d	80 d
Se 0	0.97 d	4.39 e	5.04 c	0.02	0.22	0.25	9.33	42.21	48.46	0.97 d	5.36 e	10.40 e	9.33	51.54	100
Se 0.5	10.78 a	47.60 a	51.02 a	0.27	2.38	2.55	9.85	43.51	46.62	10.78 a	58.38 a	109.40 b	9.85	53.36	100
Se 1.0	7.13 b	41.23 b	69.12 a	0.18	2.06	3.46	6.07	35.10	58.84	7.13 b	48.36 b	117.48 a	6.07	41.16	100
Se 1.5	6.59 b	29.84 c	29.91 b	0.16	1.49	1.50	9.93	44.98	45.09	6.59 b	36.43 c	66.34 c	9.93	54.91	100
Se 2.0	4.19 c	18.77 d	7.73 c	0.11	0.94	0.39	13.65	61.16	25.19	4.19 c	22.96 d	30.69 d	13.65	74.81	100

## 2.4 对总黄酮含量和分布的影响

硒对苦荞各器官总黄酮含量产生明显影响(表 3)。施硒  $\leq 1.0$  mg/kg 能提高不同时期苦荞各器官总黄酮含量,苦荞根、叶、花和子粒总黄酮含量在整个生育期比 Se 0 处理分别提高 0.09 ~ 0.36、0.26 ~ 0.79、1.32 ~ 3.2 和 0.12 个百分点,以 0.5 mg/kg 的效应最好,差异达显著水平;茎的总黄酮含量变化不明显。施硒  $> 1.0$  mg/kg 使苦荞根和茎的总黄酮含量在整个生育期高于 Se 0 处理;叶片和花总黄酮在各生育期表现不一致,子粒的总黄酮含量显著降低。表明适量的外源硒能促进苦荞总黄酮合成,提高各器官总黄酮含量,过量的硒增加根和茎中总

黄酮含量,但降低子粒中的含量。

整个生育期苦荞各器官总黄酮含量,施硒各处理随生育进程而降低;不施硒时根的总黄酮随生育进程而增高。施硒 0~1.0 mg/kg 时,茎的总黄酮随生育进程而降低,叶先升高后降低,花则为生长 60 d 时高于生长 80 d;施硒  $> 1.0$  mg/kg 使茎和叶的总黄酮含量随生育进程而增高。

表 3 还表明,各处理的苦荞总黄酮分布 40 d 时为叶  $>$  茎  $>$  根,60 d 为花  $>$  叶  $>$  茎  $>$  根,不受外源硒的影响。80 d 时,当施硒  $\leq 1.0$  mg/kg 时花  $>$  叶  $>$  子粒  $>$  茎  $>$  根,施硒  $> 1.0$  mg/kg 时则为花  $>$  叶  $>$  茎  $>$  子粒  $>$  根,表明过量施硒不利于总黄酮在子粒分布。

表 3 施硒对不同生长期苦荞各器官总黄酮含量和分布的影响(%)

Table 3 Effect of Se application on content and distribution of flavonoids in all tartary buckwheat organs at different growing stages

处理 Treat.	根 Root			茎 Stem			叶 Leaf			花 Flower		子粒 Seed
	40 d	60 d	80 d	40 d	60 d	80 d	40 d	60 d	80 d	60 d	80 d	
Se 0	0.48 c	0.53 b	0.55 b	1.19 a	0.98 b	1.06 c	5.05 b	5.45 b	4.99 b	8.63 b	5.64 b	1.59 b
Se 0.5	0.84 a	0.69 a	0.67 a	1.31 a	1.06 b	1.06 c	5.31 a	6.24 a	5.74 a	9.95 a	7.18 a	1.71 a
Se 1.0	0.66 b	0.63 a	0.57 b	1.26 a	1.09 b	1.07 c	5.49 a	6.18 a	5.09 b	8.86 b	6.35 ab	1.65 ab
Se 1.5	0.69 b	0.64 a	0.61 b	1.28 a	1.32 a	1.57 a	5.06 b	5.47 b	5.49 ab	8.26 b	5.79 b	1.52 b
Se 2.0	0.88 a	0.62 a	0.60 b	1.27 a	1.36 a	1.66 a	5.02 b	5.42 b	5.65 a	7.37 c	7.35 a	1.49 c

## 2.5 对苦荞总黄酮累积动态的影响

表 4 表明,不同生育期苦荞总黄酮累积有显著差异。在生长 40 d 时,总黄酮累积以 Se 0 处理的累积量最多(69.61 mg/pot),累积速率最快[1.7 mg/(pot·d)]相对累积率最高(20.36%),并随施硒量的增加而减少。40~60 d 时,Se 0 处理的相对累积率(79.64%)高于各施硒处理(60%以上),累积量和累积速率除 Se 0.5 处理外,其余各施硒处理均低于 Se

0 处理。这可能是由于苦荞苗期吸收的外源硒超过其耐受能力,生长发育受抑制,植株干物质减少所致。60~80 d 时,总黄酮累积为 Se1.0 > Se 0.5 > Se1.5 > Se 2.0 > Se 0,Se 0 处理无总黄酮累积,可能是由于硒过低使苦荞后期生长几近停滞,干物质质量增长很小,总黄酮含量又下降所致。苦荞全生育期总黄酮累积量以 Se 0.5 处理最多(456.34 mg/pot),Se2.0 处理最少(109.34 mg/pot)。

表 4 硒水平对不同生长期苦荞总黄酮累积动态的影响

Table 4 Effect of different Se treatments on the trend of flavonoids accumulation in tartary buckwheat at different growing stages

处理 Treat.	阶段积累量 Period accum. ( $\mu\text{g}/\text{pot}$ )			累积速率 Speed of accum. [ $\mu\text{g}/(\text{pot}\cdot\text{d})$ ]			阶段相对累积率 Period accum. ratio (%)			累积量 Accumulation amount (mg/pot)			相对累积率 Relative ratio (%)		
	40 d	60 d	80 d	40 d	60 d	80 d	40 d	60 d	80 d	40 d	60 d	80 d	40 d	60 d	80 d
Se 0	69.61 a	272.63 b	-0.6	1.70	13.00	—	20.36	79.64	—	69.61 a	341.84 b	330.35 c	20.36	100.0	—
Se 0.5	62.74 b	312.77 a	80.83 b	1.60	15.60	4.00	13.75	68.54	17.71	62.74 b	375.51 a	456.34 a	13.75	82.29	100
Se 1.0	32.73 c	215.05 c	108.37 a	0.82	10.80	5.40	9.17	60.53	30.30	32.73 c	247.78 c	356.15 b	9.17	69.69	100
Se 1.5	23.89	128.93	61.32	0.58	6.45	3.07	12.56	67.77	32.23	23.89	152.82	190.25	12.56	80.33	100
Se 2.0	11.48 d	81.63 d	16.23 c	0.29	4.08	0.81	10.50	74.66	14.84	11.48 d	93.11 d	109.34 d	10.50	86.16	100

## 2.6 对苦荞芦丁含量、分布与累积的影响

硒对苦荞芦丁含量影响明显,随施硒量的增加,各器官芦丁含量呈先升高后降低趋势(表 5)。施硒  $\leq 1.0$  mg/kg 处理的根、茎、叶、花和子粒芦丁含量较对照处理分别提高 0.02~0.04、0.19~0.22、0.13~1.49、1.01~1.08 和 0.29~0.56 个百分点,除叶外,差异均达显著水平。施硒 1.5~2.0 mg/kg 时,茎的芦丁含量增高 0.08~0.16 个百分点,子粒降低 0.01~0.18 个百分点,其余器官变化不显著。表明适量的硒能提高苦荞各器官芦丁含量,硒过高则降低子粒芦丁含量。

表 5 还表明,各处理的芦丁在苦荞各器官的分

布为:花 > 叶 > 种子 > 茎 > 根,与硒的处理浓度高低无关。芦丁总累积量以 Se 0.5 > Se 0 > Se1.0 > Se1.5 > Se2.0 表明低浓度硒促进了芦丁累积,硒过量对苦荞产生毒害,抑制生长,芦丁累积量显著降低。各器官中以叶片累积最高,占总累积量的 76%~90%,其次为子粒(4%~10%),花(4%~9%)和茎(2%~6%),根最少(0.1%~0.2%)。土壤施硒  $\leq 1.5$  mg/kg 时,苦荞茎、花和子粒芦丁累积量占总累积量的百分比分别比 Se0 处理提高 1~4、2~5 和 5~6 个百分点,叶则降低 10~14 个百分点,根无显著变化,土壤施硒 2.0 mg/kg 时,苦荞各器官芦丁累积百分比变化不明显。

表 5 硒对苦荞各器官芦丁含量、累积量及分配比例的影响

Table 5 Effect of Se application on rutin content, accumulation and distribution ratio in all organs of tartary buckwheat

处理 Treat.	根 Root			茎 Stem			叶 Leaf			花 Flower			子粒 Seed			总累积量 Total accum. (mg/pot)
	含量 Cont. (%)	累积量 Accum. mg/pot	比例 Ratio (%)													
Se 0	0.02 b	0.32	0.16	0.10 d	4.46	2.30	3.50 b	71.99	87.67	4.40 b	10.30	5.27	0.94 c	9.05	4.61	196.26 c
Se 0.5	0.06 a	0.76	0.21	0.32 a	16.02	4.48	4.99 a	282.68	79.09	5.48 a	24.17	6.76	1.50 a	33.80	9.46	357.42 a
Se 1.0	0.04 a	0.40	0.18	0.29 ab	13.43	5.83	3.63 b	178.52	77.54	5.41 a	21.10	9.16	1.23 b	16.75	7.28	230.22 b
Se 1.5	0.03 ab	0.17	0.15	0.26 b	6.16	5.31	3.60 b	92.48	79.79	4.77 b	7.01	6.04	0.93 c	10.81	8.70	115.91 d
Se 2.0	0.02 b	0.06	0.10	0.18 c	1.12	1.80	3.57 b	55.34	89.27	4.55 b	3.14	5.06	0.76 d	2.33	3.76	61.99 e

### 3 讨论

在土壤施硒 0.5~2.0 mg/kg 范围,苦荞全生育期各器官硒含量极显著提高,且都大大高于环境硒浓度,即使在不施硒时,苦荞仍能从低硒土壤中吸收和富集硒。说明尽管苦荞不是硒聚积植物,但能主动吸收和富集环境中的硒,这与在油菜<sup>[17]</sup>、大豆<sup>[19]</sup>、红三叶草<sup>[22]</sup>、黑麦草<sup>[18]</sup>施硒的诸多研究结果相似。

研究表明,大豆喷硒时使硒易向子粒转移,供硒不充分时,子粒富硒不明显<sup>[23]</sup>。本试验也表明,适量的硒有利于苦荞在苗期将硒从根运向茎,在生殖期从营养器官转移到花和子粒,硒过低则不利于硒向地上部转移,硒过低和过高均不利于硒向子粒转移。土壤施硒使苦荞在苗期大量吸收硒,并聚集在根中,随生育进程硒逐渐转移到生长旺盛的器官,使根硒含量降低,茎叶含量升高。在高硒土壤上栽培大豆时发现,大豆根的硒含量在苗期出现第一个高峰,随后下降至成熟期再次达到峰值,叶先增加再降低,茎在不同栽培品种中表现不一<sup>[19]</sup>。而油菜<sup>[17]</sup>和红三叶草<sup>[22]</sup>各器官硒含量均随生长发育而增加,黑麦草则为分蘖期>拔节期>抽穗期>苗期<sup>[18]</sup>。表明作物对硒的吸收、转运与分布因作物种类、土壤硒水平和生育期等不同而异。

在本试验中,施硒  $Se \leq 1.0$  mg/kg 均能提高苦荞各器官硒、总黄酮和芦丁含量,统计分析表明,在 40 d 时,叶片硒含量与 PAL 活性极显著相关( $r = 0.9973$ ),PAL 活性又与总黄酮含量显著相关( $r = 0.9556$ )。表明适宜的硒能提高苦荞叶片 PAL 活性以促进黄酮类化合物合成。有研究认为,黄酮、异黄酮和花色素等次生代谢产物是植物经苯丙烷类代谢途径产生的,PAL 催化苯丙烷类代谢的第一步,是这些物质合成的关键限速酶,PAL 的活性与这些物质的含量总是密切相关<sup>[24]</sup>。硒过高(大于 1.0 mg/kg)虽然能继续增加硒含量和 PAL 活性,但总黄酮呈下降趋势,表明过量的硒可能加快了其它次生代谢产物合成,不利于黄酮类物质合成。

综合以上分析,在低硒土壤上栽培苦荞,土壤施硒以不超过 1.0 mg/kg 为宜,这样既可以最大限度地提高苦荞各器官硒、总黄酮和芦丁含量和累积量,又可降低施用硒肥的成本和减少对环境的影响。在苦荞各器官中,叶片不仅生物量高(占总干重 70% 左右),且其总黄酮、芦丁含量与累积量也大,是苦荞生物活性成分提取的理想原料。

### 参考文献:

- [1] Oomah B D, Mazza G. Flavonoids and antioxidative activities in buckwheat [J]. J. Agric. Food Chem., 1996, 44(7): 1746-1750.
- [2] Przybylski R, Lee Y C, Eskin N A M. Antioxidant and radical scavenging activities of buckwheat seed components [J]. JAOCS, 1998, 75(11): 1595-1601.
- [3] Gheldof N, Wang X H, Engeseth N J. Buckwheat honey increases serum antioxidant capacity in humans [J]. J. Agric. Food Chem., 2003, 51(5): 1500-1601.
- [4] 李洁,梁月琴,郝一彬. 苦荞类黄酮降血脂作用的实验研究 [J]. 山西医科大学学报, 2004, 35(6): 570-571.  
Li J, Liang Y Q, Hao Y B. Lowering blood lipid of effect of flavonoids of tartary buckwheat [J]. Shanxi Med. Univ. 2004, 35(6): 570-571.
- [5] 韩淑英,吕华,朱丽莎,等. 荞麦种子总黄酮降血脂、血糖及抗脂质过氧化作用的研究 [J]. 中国药理学通报, 2001, 17(6): 694-696.  
Han S Y, Lu H, Zhu L S *et al.* Studies on effect of total flavones of buckwheat seed on lowering serum lipids, glucose and anti-lipid peroxidation [J]. Chin. Pharmacol. Bull., 2001, 17(6): 694-696.
- [6] 朱丽莎,马新超,韩淑英,等. 荞麦叶总黄酮对血脂及脂质过氧化物的作用 [J]. 中国临床康复, 2004, 8(24): 5178-5179.  
Zhu L S, Ma X C, Han S Y *et al.* Effects of total flavones of buckwheat leaf on blood lipid and lipid peroxides [J]. J. Clinic. Rehabil., 2004, 8(24): 5178-5179.
- [7] 辛念,熊建新,韩淑英. 荞麦种子总黄酮对四氯化碳所致急性肝损伤的保护作用 [J]. 第三军医大学学报, 2005, 27(14): 1456-1458.  
Xin N, Xiong J X, Han S Y. Protective effect of total flavonoids of buckwheat seed on acute hepatic injury by carbon tetrachloride [J]. Acta Academ. Medic. Milit. Tert., 2005, 27(14): 1456-1458.
- [8] Li S Q, Zhang H Q. Advances in the development of functional foods from buckwheat critical reviews in Food [J]. Sci. Nutr., 2001, 41(6): 451-464.
- [9] Nina F, Janko Rode, Iztok J K *et al.* Tartary buckwheat (*Fagopyrum tataricum* Gaertn.) as a source of dietary rutin and quercitrin [J]. J. Agric. Food Chem., 2003, 51(22): 6452-6455.
- [10] 吴求亮,杨玉爱,谢正苗. 微量元素与生物健康 [M]. 贵阳:贵州科技出版社, 2000. 1-20.  
Wu Q L, Yang Y A, Xie Z M. Microelements and organism health [M]. Guiyang: Guizhou Science and Technique Press, 2000. 1-20.
- [11] 程伯容. 生态环境中微量元素硒与克山病 [J]. 生态学报, 1981, 3(3): 31-36.  
Cheng B R. Microelement selenium in ecological environment and Kasha disease [J]. Acta Ecol. Sin., 1981, 3(3): 31-36.
- [12] 罗盛国,徐宁彤,刘元英. 叶面喷 Se 提高粮食中的 Se 含量 [J]. 东北农业大学学报, 1999, 30(1): 18-22.  
Luo S G, Xu L T, Liu Y Y. Effect of foliar application of selenium on Se content in foods [J]. J. Northeast Agric. Univ., 1999, 30(1): 18-22.
- [13] 吴永尧,罗泽民,彭振坤. 不同供硒水平对水稻生长及水稻对

- 硒的富集作用[J]. 湖南农业大学学报, 1998, 24(3): 176-179.  
Wu Y Y, Luo Z M, Peng Z K. Effect of Se application on growth and Se accumulation of paddy rice[J]. J. Hunan Agric. Univ., 1998, 24(3): 176-179.
- [14] 杜振宇, 史衍玺, 王清华. 施硒对茄子吸收转化硒和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(3): 298-301  
Du Z Y, Shi Y X, Wang Q H. Effect of selenium application on the selenium absorption and transformation of eggplant and its qualities [J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2004, 10(3): 298-301.
- [15] 施和平, 张英聚, 刘振声. 番茄对硒的吸收、分布和转化[J]. 植物学报, 1993, 35(7): 541-546.  
Shi H P, Zhang Y J, Liu Z S. Absorption, distribution and transformation of selenium by tomato[J]. Acta Bot. Sin., 1993, 35(7): 541-546.
- [16] 史衍玺, 杜振宇, 马丽, 周清. 不同施硒方式下小白菜对硒的吸收与累积特征[J]. 土壤通报, 1998, 29(5): 299-303.  
Shi Y X, Du Z Y, Ma L, Zhou Q. Characteristics of selenium absorption and accumulation by pakchoi in different method of selenium applied[J]. Chin. J. Soil Sci., 1998, 29(5): 299-303.
- [17] 张驰, 吴永尧, 彭振坤, 周大寨. 油菜苗期对硒的生物富集分布[J]. 河南农业科学, 2005, (9): 29-32.  
Zhang C, Wu Y Y, Peng Z K, Zhou D Z. Bio-accumulation and distribution of selenium in rapeseed seedling stage[J]. J. Henan Agric. Sci., 2005, (9): 29-32.
- [18] 田应兵, 陈芬, 熊明标, 宋光煜. 黑麦草对硒的吸收、分配与累积[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(1): 122-127.  
Tian Y B, Chen F, Xiong M B, Song G Y. Uptake, distribution and accumulation of selenium by ryegrass[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2005, 11(1): 122-127.
- [19] 唐巧玉, 吴永尧, 周毅峰, 周大寨. 大豆对硒的富集动态的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2005, 11(3): 424-426.  
Tang Q Y, Wu Y Y, Zhou Y F, Zhou D Z. Research on the dynamics of accumulation of Se in soybean[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2005, 11(3): 424-426.
- [20] 韩玉珠, 栗长兰, 王艳, 付立艳. 17个茄子品种(系)芦丁含量及杂种优势研究[J]. 吉林农业大学学报, 2002, 24(6): 39-41.  
Han Y Z, Su C L, Wang Y, Fu L Y. Study on rutin content and heterosis of 17 eggplant varieties(Strains)[J]. J. Jilin Agric. Univ., 2002, 24(6): 39-41.
- [21] 张艳玲, 潘根兴, 胡秋辉, 等. 江苏省几种低硒土壤中硒的形态分布及生物有效性[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(3): 355-359.  
Zhang Y L, Pan G X, Hu Q H et al. Selenium fraction and bio-availability in some low-Se soils and central Jiangsu Province[J]. Plant Nutr. Fert. Sci., 2002, 8(3): 355-359.
- [22] 杨山东. 红三叶草中硒的生理生化及其富集规律[D]. 长沙: 湖南农业大学硕士论文, 2005.  
The physiology and biochemistry of Se and accumulation regulation of Se in red clover[D]. Changsha: Master Thesis of Hunan Agricultural University, 2005.
- [23] 张艳玲, 潘根兴, 胡秋辉, 陈历程. 叶面喷施硒肥对低硒土壤大豆不同蛋白组成及其硒分布的影响[J]. 南京农业大学学报, 2003, 26(1): 37-40.  
Zhang Y L, Pan G X, Hu Q H, Cheng L C. Effect of foliar application of selenium on composition and selenium content of seed proteins of soybean growing in a low Se-soil[J]. J. Nanjing Agric. Univ., 2003, 26(1): 37-40.
- [24] 江昌俊, 余有本. 苯丙氨酸解氨酶的研究进展[J]. 安徽农业大学学报, 2001, 28(4): 425-430.  
Jiang C J, Yu Y B. Recent advance in phenylalanine ammonia-lyase [J]. J. Anhui Agric. Univ., 2001, 28(4): 425-430.