

有色稻与常规稻富硒能力比较及其机理初探^①

陈秋香¹, 施卫明^{1*}, 王校常²

(1 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2 浙江大学农业与生物技术学院, 杭州 310029)

摘要: 利用根袋盆栽试验, 初步比较了有色稻(龙睛四号和黑米 120)和常规稻(秀水 48 和S.Andrea) 苗期富Se能力的差异, 并分析了富Se能力与根际特征的相关性。结果表明, 植株富Se能力与稻种颜色无直接关系, 而与茎叶Se转运能力关系更为密切。无论土壤施Se与否, 富Se品种均表现出较强的茎叶Se转运能力, 但与有色稻相比常规品种显示出较高的Se肥效应。富Se品种在植株N、P养分的吸收利用上同样表现出强的能力, 其累积顺序与Se累积顺序一致: 秀水 48>龙睛四号>黑米 120>S.Andrea。相关分析表明, 4 个水稻品种茎叶Se含量与茎叶N、P含量及根际速效P亏缺率显著相关, 而与根际K和pH值无关。无论有色稻还是常规稻, 较高的茎叶Se转运能力可能是其富Se原因之一。

关键词: 根际; 富硒; 水稻; 土壤施硒

中图分类号: S511; S154.9

硒(Se)是人、动物和微生物的必需微量元素。在我国约有 72% 地区的土壤存在不同程度缺Se。自从发现人体缺Se与克山病、大骨节病有关以来, 围绕补Se人们做了大量的工作^[1-4]。植物体内的有机Se可被动物或人有效利用^[5], 因而通过食物链改善低Se地区的人体Se水平具有重要意义。目前我国富Se食品种类繁多, 富Se大米深受欢迎^[6]。富Se大米生产技术主要依赖供应外源Se(叶面喷施或土施), 补Se效果快速且直接, 但也容易导致稻米Se含量超过安全标准以及Se在土壤中的高量积累^[7-9]。因此, 筛选天然的富Se品种是一种更安全的补Se途径。张联合等^[10]通过对国内外几百个水稻品种进行Se富集能力筛选试验, 发现水稻对Se的吸收利用存在明显的基因型差异, 富Se品种稻米Se含量可达低Se品种的 2 倍以上。目前有报道指出有色稻米在微量元素(如Fe、Ca、Zn、Mo、Se)的含量上较普通白米表现出一定的优势^[11]。但是, 有色稻是否具有较常规稻更高的富Se能力有待进一步明确。

根际是根系与土壤和微生物相互作用形成的界面, 根际微区土壤在物理、化学、生物学性质上与根外土有很大的差别。植物根系是根际微生态系统的主导因子, 不同基因型植物根系形态及生理代谢特征不同, 这势必产生不同的根际效应, 这对根际微域内营养物质的转化, 土壤养分的有效性等有直接影响^[12]。秦恩华等^[13]对烤烟根际土壤Se含量和形态进行调查,

发现根际土壤中的全Se含量显著高于根外土壤。Nakamaru等^[14]研究认为根际 pH 降低能够导致土壤溶液中可利用Se的减少。前人的研究仅限于根际Se形态分布特征的变化。但是, 水稻富Se能力是否与根际养分特征及根际 pH 密切相关仍然有待明确。

目前富Se品种方面的工作多限于品种的筛选, 而针对不同品种有色稻的富Se能力, 水稻富Se能力与N、P、K养分的吸收利用能力及根际养分特征之间的相关性研究相对较少。本文选择 4 种典型水稻品种, 初步比较了有色稻与常规稻的Se累积能力差异, 并探讨了富Se能力与根际特征的相关性, 旨在探讨水稻的富Se特点及其富Se品种的根际机理, 为生产优质安全富Se米提供科学参考。

1 材料与方法

1.1 材料

试验于中国科学院南京土壤研究所人工温室内进行。供试土壤为太湖地区安镇水稻土。其土壤基本性质见表 1。4 个供试水稻品种为 2 个有色稻品种和 2 个常规稻品种, 有色稻品种为龙睛四号和黑米, 2 个常规稻分别为秀水 48 和S.Andrea。其中秀水 48 是富Se品种, 其籽粒Se含量约在 100 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 左右, 是低Se品种S.Andrea的 2 倍左右。龙睛四号由江苏省农业科

^①基金项目: 国家科技支撑计划项目(2006BAD17B03)和土壤与农业可持续发展国家重点实验室自主研究项目(0812000021)资助。

* 通讯作者 (wmshi@issas.ac.cn)

作者简介: 陈秋香(1981—), 女, 山东潍坊人, 博士研究生, 主要从事硒生物地球化学及作物硒生理研究。E-mail: chenqiuxiang_198@163.com

学研究院水稻研究所提供，黑米由安徽省农业科学研究所水稻研究所提供，秀水 48 和 S.Andrea 由中国水稻研究所品种资源室提供。不同品种在本文图表中的代号分别为：龙晴四号 (LQ4)、秀水 48 (XS48)、黑米 120 (HEIMI) 以及 S.Andrea (S.And)。

表 1 试验土壤的基本性质

Table 1 General characteristics of tested soil

pH (1: 2.5)	有机质 (g/kg)	全 N (g/kg)	速效 P (mg/kg)	速效 K (mg/kg)	全 Se (mg/kg)
5.5	38.3	1.83	8.29	101.3	0.28

1.2 试验设计

根际试验：试验采用根袋法^[15]。根袋用 300 目尼龙网通过压膜机制成长 14 cm × 宽 5.5 cm，容积约 130 cm³。试验共设 0 和 0.5 mg/kg 土两个 Se 水平，分别设 3 个重复。根袋外土壤过 2 mm 筛，混匀后以 2 kg/盆装入白瓷盆中，每盆施入尿素 0.75 g，磷酸二氢钾 0.475 g 作底肥，以亚硒酸钠作外源 Se，均匀混合施入土壤中；根袋内用土磨细过 20 目筛，每袋装入 110 g，所施肥料用量与根袋外土一致，然后淹水浸泡活化一周。水稻种子催芽，播种 10 粒于根袋内，一周后间苗至 5 棵。培养室生长条件昼/夜光照时间为 14 h/10 h，光照强度为 300 μmol photon/(m²·s)，温度为 (25 ± 2) °C，相对湿度为 75%，一个月后水稻根系长满根袋时收苗。用少量蒸馏水洗下水稻根上的根际土，将泥浆自然风干作根际土，根袋外土壤混匀后取适量，自然风干后作非根际土。水稻植株分别收集地上部与地下部，用蒸馏水洗净后杀青烘干备用。

1.3 样品测定方法

植物样品的消化与含 Se 量测定：称取粉碎的样品 0.300 g，置于消煮管中，加入混合酸 (HNO₃: HClO₄ = 4:1) 5 ml，浸泡过夜，次日，将消煮管置于消化炉

上，逐渐升温，50°C 消化 2 h，100°C 消化 1 h 后，加混合酸 2.5 ml 升温至 170°C 消化 2 h，至溶液颜色变为无色并冒白烟后，冷却，加入 50% 的 HCl 2.5 ml，100°C 继续加热至无色并冒白烟，自然冷却后，定容至 25 ml，待测^[16]。消化后待测液中的 Se 含量用 AF-610A 原子荧光光谱仪测定。测定条件为：PMT 电压 280 V；HCl 全阴极电流 80 mA；载气流量 800 ml/min；进样体积 1.0 ml；原子化器高度 7 mm；原子化器温度室温；采样泵速 100 r/min；采样时间 18 s；停泵时间 5 s。以国家标准物质茶叶 (07605) 为内标，测定回收率为 98.6% ± 5%。

常规分析中植株 N、P、K 含量，土壤速效 P、速效 K 含量，土壤 pH 等的测定方法参照中国土壤学会编《土壤农业化学分析方法》^[17]。

根际土壤速效 P 或 K 亏缺率 (%) = (非根际土速效 P 或 K - 根际土速效 P 或 K) / 非根际土速效 P 或 K × 100。

1.4 数据处理和相关性分析

采用 SPSS 软件进行数据处理和相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同水稻品种植株硒累积的差异

2.1.1 外源 Se 对水稻生物量的影响 从表 2 可以看出，不同水稻品种间其生物量有较大差异，其中生物量最大的为常规品种秀水 48，其次为 S.Andrea，有色稻龙晴四号与黑米的生物量相对较小。秀水 48 生物量分别是其他 3 个品种的 1.51、1.93、1.63 倍。

添加 Se 处理对水稻生物量的影响较小，除对 S.Andrea 根系生物量表现出显著抑制作用，对其他品种都无明显影响。S.Andrea 是低 Se 品种，水稻的耐 Se 能力可能与吸收累积 Se 能力有关，外源 Se 对根系生长的影响大于对茎叶的影响。

表 2 外源 Se 对水稻苗期生物量的作用

Table 2 Effects of selenium addition on biomass of rice seedling

品种	根干重 (g)		茎叶干重 (g)	
	对照	加 Se	对照	加 Se
LQ4	0.68 ± 0.03 a	0.79 ± 0.15 a	1.23 ± 0.17 a	1.37 ± 0.30 a
XS48	1.53 ± 0.72 a	1.36 ± 0.48 a	2.17 ± 0.30 a	2.15 ± 0.28 a
HEIMI	0.66 ± 0.27 a	0.54 ± 0.14 a	1.60 ± 0.29 a	1.55 ± 0.24 a
S.And	0.83 ± 0.10 a	0.54 ± 0.03 b	1.62 ± 0.09 a	1.46 ± 0.18 a

注：表中的值为平均值 ± SD，n=3；同一列不同字母代表差异达 p<0.05 显著水平。

2.1.2 不同水稻品种茎叶、根对 Se 累积的差异及其对外源 Se 的响应 在未施 Se 土壤中，水稻苗期茎叶

含 Se 量为 88.9 ~ 209 μg/kg，根系含 Se 量为 491 ~ 624 μg/kg；土壤施 Se 后，茎叶含 Se 量升高至 173 ~ 308

$\mu\text{g}/\text{kg}$, 根系含 Se 量升高为 1119 ~ 2479 $\mu\text{g}/\text{kg}$ 。无论施 Se 与否, 龙晴四号与秀水 48 的茎叶含 Se 量均显著高于其他两个品种, 水稻根系含 Se 量显著高于茎叶含 Se 量 (图 1)。

4 个不同水稻品种 Se 转运能力不同。未施 Se 时, 转运系数 (茎 Se/根 Se) 最高的为龙晴四号 0.40, 其次为秀水 48 的 0.35, 黑米为 0.24, S.Andrea 为 0.18, 加 Se 后各品种的转运系数降低, 依次变为 0.27、0.24、0.16、0.15。由此可见, 土壤中 Se 浓度越低, Se 往地上部的转运能力越强。

不同水稻品种的施 Se 效应也各不相同。茎叶 Se 效应最高的为秀水 48, 加 Se 后, 茎叶含 Se 量是不加 Se

的 2.67 倍, 其次为 S.Andrea, 而黑米与龙晴四号分别为 1.50 及 1.46 倍。水稻根系 Se 累积与茎叶不同。在不加 Se 时, 不同水稻品种的根系含 Se 量无显著差异; 加 Se 后, 秀水 48 表现出很高的施 Se 效应, 显著高于其他 3 个品种, 其根系含 Se 量是不加 Se 的 3.96 倍, 而其他 3 个品种的 Se 效应为不加 Se 的 2 倍多, 且 3 品种间无显著差异。

无论施 Se 与否, 富 Se 品种龙晴四号及秀水 48 表现出较高的 Se 转运能力, 而低 Se 品种 S.Andrea 茎叶 Se 累积能力及转运最低。这些结果表明, 植株富 Se 能力与稻种颜色无直接关系, 而与茎叶 Se 转运能力关系更为密切。

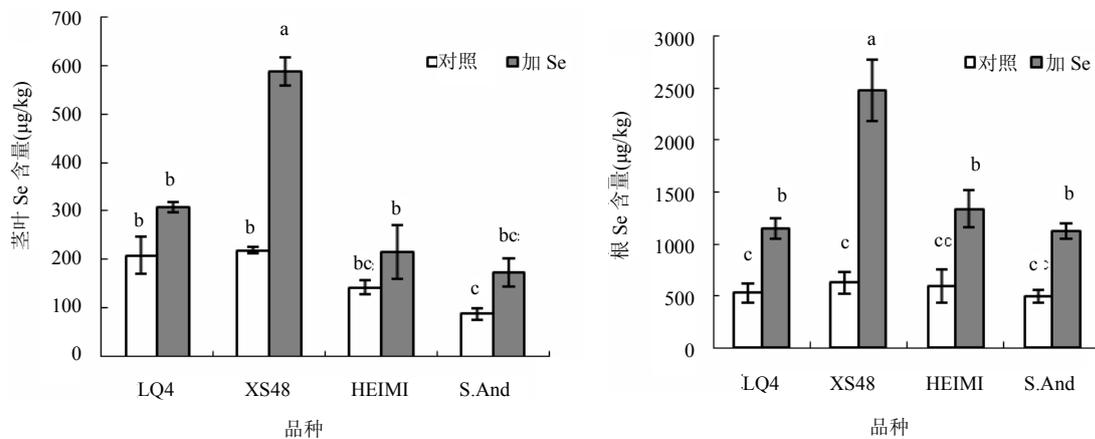


图 1 水稻苗期茎叶及根系对 Se 的累积量 (不同字母表示显著性差异 $p < 0.05$, 下同)

Fig. 1 Selenium accumulations in shoots and roots of four rice cultivars

2.2 水稻植株茎叶累积硒与氮磷钾养分的相关分析

2.2.1 不同品种水稻植株茎叶 N、P、K 养分含量差异及其 Se 效应

图 2 为各水稻品种苗期植株茎叶中 N、P、K 养分含量及外源 Se 添加对其影响。结果表明, 不同品种水稻植株茎叶中 N、P、K 含量存在明显的差异。不施 Se 处理下, 龙晴四号、秀水 48 及黑米的植株茎叶含 N 量都显著高于 S.Andrea。加 Se 后龙晴四号和秀水 48 的含 N 量显著升高, 分别增加了 16.7% 和 27.6%, 而黑米含 N 量显著下降了 19.5%, S.Andrea 的含 N 量无显著变化。施 Se 能促进富 Se 品种秀水 48 和龙晴四号的 N 吸收。

茎叶含 P 量以秀水 48 最高, 为 2.98 mg/kg , 显著高于其他 3 个品种, 其次为龙晴四号。施 Se 对茎叶含 P 量没有明显影响。植株含 K 量以龙晴四号为最高, 显著高于其他 3 个品种。施 Se 对植株含 K 量的影响也不显著。

这些结果说明, 富 Se 品种秀水 48 及龙晴四号在 N、P 的吸收上仍然表现出较强的能力, 吸收 K 的能

力则不然; 施 Se 能促进富 Se 品种的 N 吸收, 而对 4 个水稻品种植株 P、K 吸收无显著作用。

2.2.2 不同水稻品种根际 P、K 养分亏缺以及根际 pH 的差异

图 3 为不同基因型水稻的根际 P、K 养分亏缺率。结果显示, 不同基因型水稻品种其根际 P、K 养分的亏缺差异明显。根际有效 P 的亏缺率范围为 43.2% ~ 82.3%, 亏缺率以秀水 48 最高, 达 80%, 黑米与龙晴四号次之, S.Andrea 为最低, 仅为 40% 左右。根际有效 P 的亏缺表明富 Se 品种对根际养分依然显示出较强的利用能力。

不同水稻品种根际有效 K 亏缺率为 30.8% ~ 51.7%, 以黑米为最高, 达到 50%, S.Andrea 次之, 龙晴四号最低。施 Se 对根际 P、K 养分亏缺无显著影响。不同品种水稻根际 pH 无明显差异, 施 Se 与否对根际 pH 值也无显著差异, 均在 5.5 左右。

2.2.3 水稻茎叶累积 Se 与养分吸收和根际营养特征的相关性分析

由表 3 可知, 茎叶含 Se 量与茎叶含 N 量、茎叶含 P 量及根际有效 P 亏缺率呈显著正

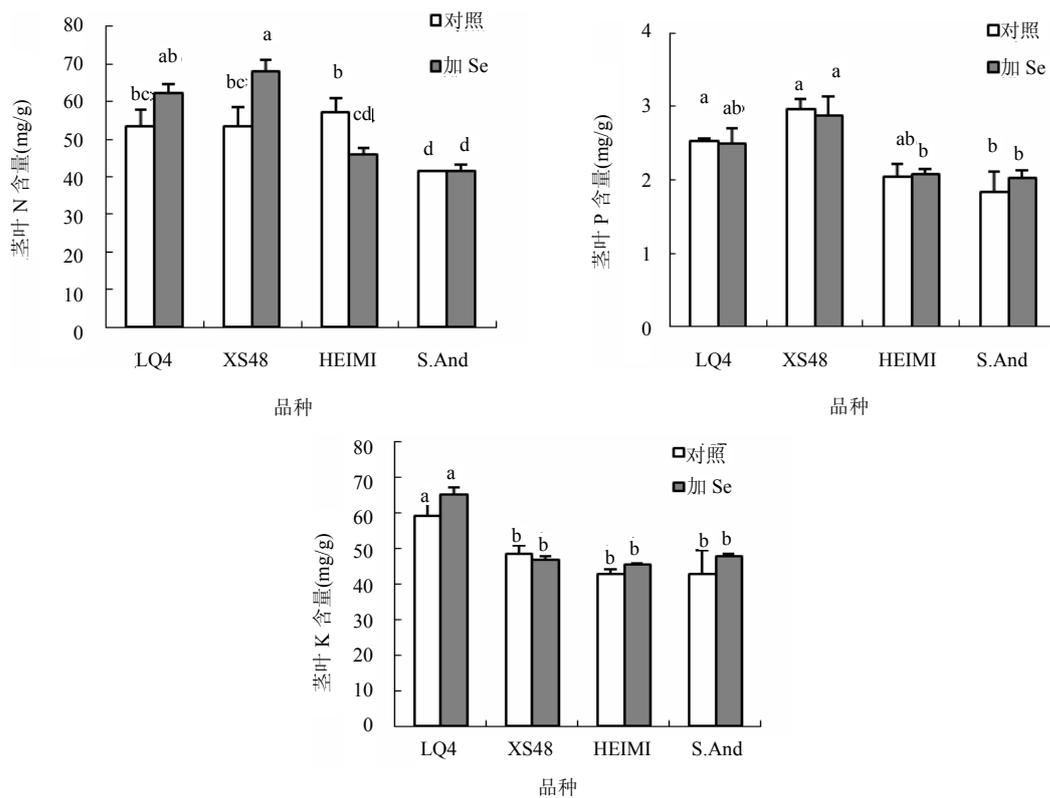


图 2 4 个水稻品种植株茎叶 N、P 及 K 含量差异

Fig. 2 Differences of four rice cultivars in shoot N, P and K contents

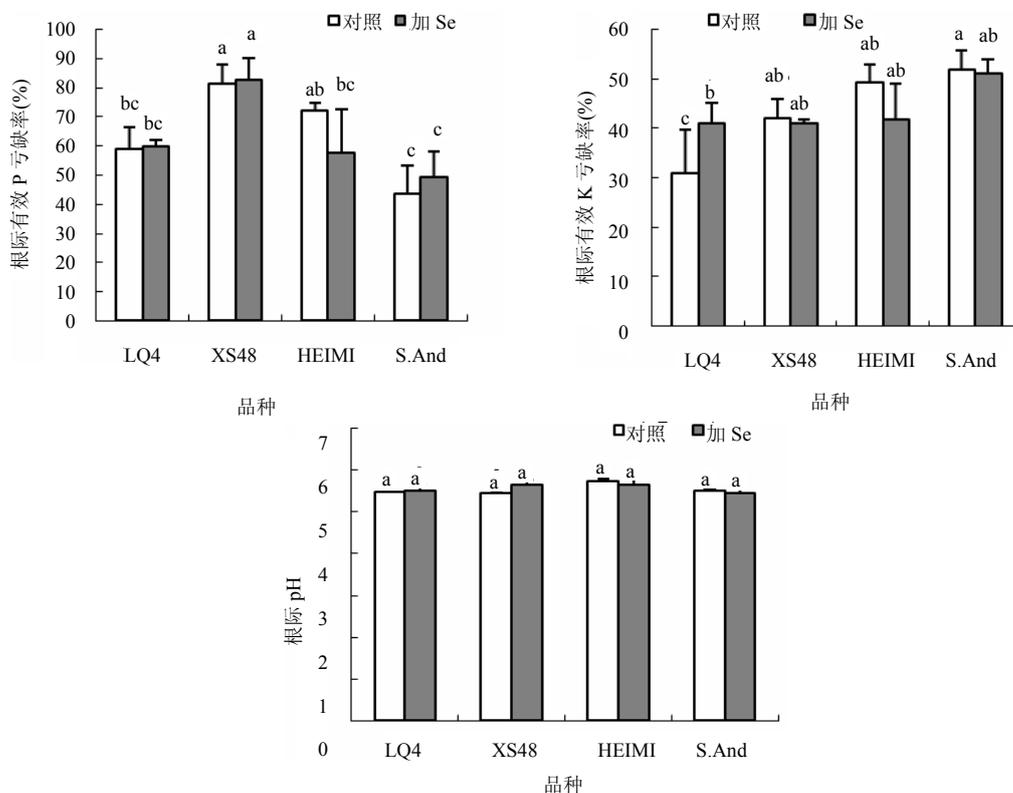


图 3 4 个水稻品种根际土壤有效 P、有效 K 亏缺率及根际 pH 差异

Fig. 3 Differences of four rice cultivars in depletion of available-P, available-K and pH in rhizosphere soils

表 3 水稻茎叶 Se 含量与养分含量及根际各因素的相关性分析

Table 3 Correlations between shoot selenium and other factors

相关系数	茎叶含 Se 量	茎叶含 N 量	茎叶含 P 量	茎叶含 K 量	根际速效 P 亏缺率	根际有效 K 亏缺率	根际 pH
茎叶含 Se 量	1						
茎叶含 N 量	0.656*	1					
茎叶含 P 量	0.765*	0.076	1				
茎叶含 K 量	0.051	0.335	0.326	1			
根际速效 P 亏缺率	0.821*	0.494	0.584	-0.139	1		
根际有效 K 亏缺率	-0.558	-0.391	-0.320	-0.704*	-0.260	1	
根际 pH	0.312	0.087	0.457	0.271	0.432	0.324	1

注：表中 * 代表显著性相关 ($p < 0.05$)。

相关关系，相关系数分别为 0.656、0.765 和 0.821。而与茎叶含 K 量无显著相关关系。除茎叶 K 含量与根际有效 K 亏缺率呈显著负相关关系外，其他各因素之间均无显著相关关系。

3 讨论

本试验中采用的 4 个水稻品种中，秀水 48 为本实验室筛选出的富 Se 品种，S.Andrea 为低 Se 的意大利品种，龙晴四号与黑米为有色稻，这些品种具有明显的基因型差异。植株茎叶含 Se 量差异表明不同基因型水稻品种 Se 累积能力存在显著的基因型差异。这与江川等^[18]及张联合等^[19]的研究结果一致，即不同水稻品种具有不同的富 Se 能力，富 Se 能力强的品种在不同的 Se 水平下依然显示较强的 Se 吸收利用能力。同时，水稻根系含 Se 量大于茎叶 Se 含量，是茎叶含 Se 量的几倍，这与吴永尧等^[20]的结果一致，即水稻根系是 Se 含量最高的器官。同时，还可发现，并非有色稻就一定具有高的富 Se 能力，水稻的富 Se 能力与稻种颜色无直接相关，富 Se 能力高是因为有较高的茎 Se/根 Se 比，不同水稻品种累积 Se 能力差异主要表现在地上部 Se 含量差异，而根系累积 Se 的差异不明显。

添加 Se 对水稻生物量无显著影响（除对 S.Andrea 根系有一定抑制作用），这与吴永尧等^[20]的观点相似，但覃广全等^[21]研究认为低浓度 Se 可以促进水稻生长，而且这种影响与水稻品种有关^[22]。本试验中富 Se 品种龙晴四号生长受到一定的促进，但未达到显著水平，而低 Se 品种 S.Andrea 的根系生长却受到外源 Se 的抑制。覃广全等^[21]采用的是溶液培养，溶液中 Se 含量相对较高，而本试验为土培试验，施入土壤中的四价 Se 容易被土壤吸附，造成土壤溶液中 Se 含量较低，未产生促进作用，这可能是产生不同结果的原因。Se 对不同品种植株生长的影响不同，这可能与它们的耐 Se

能力有关，低 Se 品种耐 Se 能力相对较差。植物耐 Se 能力可能与 Se 在植物体内的最终代谢产物有关。研究表明，Se 超累积植物体内 Se 的代谢产物与非 Se 累积植物不同，Se 超累积植物能将 Se 结合进非蛋白氨基酸从而在植株体内累积 Se，而非累积植物则容易将 Se 结合进蛋白质造成 Se 毒害^[23-24]。水稻耐 Se 能力差异是否与其体内 Se 代谢有关，还有待于进一步的证据来证实。

相关性分析结果表明，水稻茎叶含 Se 量与茎叶含 N 量有显著正相关关系，土壤添加 Se 对龙晴四号及秀水 48 的植株 N 含量起到了一定的促进作用，对黑米起了抑制作用。这与吴秀峰等^[25]研究结果一致，即低浓度 Se 处理能促进水稻吸收 N，但这种促进作用与品种相关。董广辉等^[26]也发现对大豆施加亚硒酸盐后，大豆植株苗期的含 N 量升高。本研究观察到水稻植株对 Se 的吸收与对 N 的吸收有显著正相关关系，推测可能与 Se 在植物体内的代谢途径及产物有关，因为 Se 在植物体内最终代谢产物为硒代氨基酸或含 Se 蛋白，无论氨基酸或蛋白质都有 N 元素存在，因此 Se 吸收量的增加可能导致含 Se 蛋白的增加^[27]，从而导致 N 吸收量的增加。

水稻茎叶含 Se 量与茎叶含 P 量、土壤有效 P 亏缺率有显著相关关系。土壤施 Se 对水稻植株 P 的吸收无显著影响，这可能是由于土壤溶液中的 Se 浓度较低。目前作物吸收 Se 与 P 之间的相互关系仍未完全明确。普遍认同 Se 与 P 之间有拮抗作用的研究较多，如 Broyer 等^[28]及张联合等^[29]观察到在聚 Se 植物体内，P 和 Se 的吸收互为拮抗作用；董广辉等^[26]也认为对大豆施加亚硒酸盐后，使大豆各个生长期植株含 P 明显低于对照处理。而 Liu 等^[30]研究认为在土壤-稻株系统中，P、Se 之间存在着既相互促进又相互拮抗的关系。稻田施 P 量较少，P 对水稻吸收 Se 可能产生拮抗作用，抑制 Se 在稻株体内的累积；当供 Se 量增加

时, 由于磷酸根与亚硒酸根在土壤颗粒表面具有相似的吸附位点, 相互竞争吸附, P能使土壤溶液解析出较多的Se供水稻植株吸收, 从而促使稻株Se吸收量增加, Se含量升高。与以上观点不同的是, 覃广全等^[21]利用水培试验发现低浓度Se能提高P在茎叶中的分布比例, Liu等^[30]的溶液培养结果也发现, 当高Se、高P浓度处理时, Se与P在地上部表现出相互促进的交互作用。低浓度时的相互拮抗、高浓度的交互促进作用, 可能与P、Se在根部的竞争吸收及往地上部P、Se的协同转运过程有关, 这有待于进一步研究。

4 结论

(1) 不同品种水稻Se累积能力存在显著的基因型差异。水稻富Se能力与稻种颜色无直接关系, 而是与往地上部转运Se的能力有关。无论有色稻还是常规稻, 富Se品种龙晴四号与秀水48比低Se品种黑米及S.Andrea具有更高的茎Se/根Se比, 这可能是其富Se原因之一。

(2) 土壤施加一定量Se对水稻生物量影响不大。施Se能促进富Se品种龙晴四号与秀水48的茎叶含N量, 对其他品种无显著影响, 施Se对水稻茎叶P、K含量无显著影响。富Se品种秀水48与龙晴四号表现出较强的N、P吸收能力, 其富Se原因可能与有较强的吸收能力有关。相关性分析表明, 不同水稻品种茎叶含Se量与茎叶含N量、茎叶含P量以及根际速效P亏缺率呈显著正相关关系, 揭示了水稻富Se能力与N、P关系密切, 与K无关。

(3) 根据以上结果, 有色稻因其较低的Se效应, 建议不宜使用外源Se提高Se含量; 而常规稻有相对较高的Se效应, 在生产中需根据Se效应高低来制定外源Se的施用量, 以保障优质安全富Se大米的生产。

参考文献:

[1] 徐辉碧. 硒的化学、生物化学及其在生命科学中的应用. 华中理工大学出版社, 1994

[2] 中国科学院地理研究所环境与地方病组. 我国克山病分布和以粮食低硒为表征的地理环境的关系. 地理学报, 1981, 36(4): 369-370

[3] 中国科学院地理研究所环境与地方病组. 我国低硒带及其与克山病、大骨节病病因关系的研究. 环境科学, 1986, 7(4): 89-83

[4] Cao ZH, Wang XC, Yao DH, Zhang XL, Wong MH. Selenium

geochemistry of paddy soils in Yangtze River delta. Environ. Int., 2001, 26: 335-339

[5] 陈历程, 杨方美, 胡秋辉, 潘根兴. 南京市主要食物含硒量分析及居民硒营养水平评价. 食品科学, 2000, 21(10): 57-59

[6] 张瑞华. 人体需要经常补硒. 辽宁城乡环境科技. 2004, 24(5): 16-18

[7] 陈加友. 富硒大米与人体健康. 世界农业, 2005, 2: 48

[8] 周鑫斌, 施卫明, 杨林章. 叶面喷硒对水稻籽粒硒富集及分布的影响. 土壤学报, 2007, 27(1): 73-78

[9] 张桂英, 周乐文. 叶面喷施硒肥对水稻含硒量影响初探. 新疆农业科技, 2008(2): 18

[10] 张联合, 郁飞燕, 施卫明. 富硒和非富硒水稻品种苗期硒吸收和转运差异. 土壤, 2007, 39(3): 381-386

[11] 韩磊, 汪旭东, 徐建第, 汪秀志, 张红宇. 有色稻米研究现状分析. 中国稻米, 2003(5): 5-8

[12] 金剑, 王光华, 刘晓冰, 王国栋, Herbert SJ. 根箱法解析大豆苗期根际养分分布及吸收特征. 中国科学院研究生院学报, 2007, 24(2): 193-200

[13] 秦恩华, 杨兰芳. 烤烟苗期含硒量和根际硒形态的研究. 作物学报, 2008, 34(3): 506-512

[14] Nakamaru Y, Tagami K, Uchida S. Depletion of selenium in soil solution due to its enhanced sorption in the rhizosphere of soybean. Plant and Soil, 2005, 278: 293-301

[15] 刘芷宇. 根际研究法. 南京: 江苏科学技术出版社, 1997: 321-322

[16] Zhou XB, Shi WM, Zhang LH. Iron plaque outside roots affects selenite uptake by rice seedlings (*Oryza sativa* L.) grown in solution culture. Plant and Soil, 2007, 290: 17-28

[17] 中国土壤学会编. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 1999

[18] 江川, 王金英, 李清华, 郑金贵. 早晚季水稻精米和米皮硒含量的基因型差异研究. 植物遗传资源学报, 2005, 6(4): 448-452

[19] Zhang LH, Shi WM, Wang XC. Difference in selenite absorption between high- and low-selenium rice cultivars and its mechanism. Plant and Soil, 2006, 282: 183-193

[20] 吴永尧, 罗泽民, 彭振坤. 不同供硒水平对水稻生长的影响及水稻对硒的富集作用. 湖南农业大学学报, 1998, 24(3): 176-179

[21] 覃广泉, 陈平. 硒对水稻幼苗生长及磷分布效应的影响. 热带农业科学, 2004, 24(5): 31-34

[22] 陈金, 潘根兴, 李正文, 张艳玲. 不同硒水平下两种大豆对土壤中硒吸收积累的生育期动态. 大豆科学, 2003, 22(4): 278-282

[23] Sors TG, Ellis DR, Salt DE. Selenium uptake, translocation,

- assimilation and metabolic fate in plants. *Photosynthesis Research*, 2005, 86: 373-389
- [24] Zayed A, Lytle CM, Terry N. Accumulation and volatilization of different chemical species of selenium by plants. *Planta*, 1998, 206: 284-292
- [25] 吴秀峰, 陈平. 硒对水稻幼苗生长和生理特性的影响. *农业与技术*, 2004, 24(5): 76-79
- [26] 董广辉, 陈利军, 武志杰, 肖世盛, 陈利, 雷恩春. 外源硒对大豆产量、植株氮磷含量及土壤酶活性的影响. *应用生态学报*, 2003, 14(5): 776-780
- [27] 张艳玲, 潘根兴, 胡秋辉, 陈历程. 叶面喷施硒肥对低硒土壤中大豆不同蛋白组成及其硒分布的影响. *南京农业大学学报*, 2003, 26(1): 37-40
- [28] Broyer TC, Johnson CM, Huston RP. Selenium and nutrition of *Astragalus*. II. Ionic sorption interactions among selenium, phosphate, and the macro-and micro-nutrient cations. *Plant Soil*, 1972, 36: 651-669
- [29] 张联合, 施卫明, 王校常. 不同因素对水稻离体根吸收四价硒影响. *土壤*, 2006, 38(4): 417-421
- [30] Liu Q, Wang DJ, Jiang XJ, Cao ZH. Effects of the interactions between selenium and phosphorus on the growth and selenium accumulation in rice (*Oryza Sativa*). *Environmental Geochemistry and Health*, 2004, 26: 325-330

Comparison of Selenium Accumulation Ability Between Colored and General Rice Cultivars and Its Mechanism

CHEN Qiu-xiang¹, SHI Wei-ming¹, WANG Xiao-chang²

(1 *Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;*

2 *College of Agriculture and Biotechnology, Zhejiang University, Hangzhou 310029, China)*

Abstract: Rhizobag pot experiment was carried out to compare Se accumulation ability in rice seedlings between colored (Longqing4 and Heimi120) and general (Xiushui48 and S.Andrea) rice cultivars, and the correlation between Se accumulation ability and rhizosphere characteristics. The results showed that Se accumulation ability in rice seedlings did not correlated with rice grain color, but correlated with the ability of transporting Se to shoots from roots. Xiushui48 and Longqing4 had higher capacity to accumulate Se in shoots at different Se treatments. General rice cultivars had higher response to Se application. Se-enriched rice varieties also had greater capacity of uptake and accumulate N, P in shoots, and the order was: Xiushui48 > Longqing4 > Heimi120 > S.Andrea. Correlation analysis indicated that there were significant correlations between shoot Se and shoot P or shoot N contents. No correlation occurred between shoot Se and shoot K or rhizospheric pH. Higher (shoot Se)/(root Se) ratio might be one of the reasons for Se-enrichment in both colored and general rice.

Key words: Rhizosphere, Se-enrichment, Rice, Se application