

植物的硒营养

ZHIWU DE XI YINGYANG

周成河 张凤英 乐义成 编著



植物的硒营养

ZHIWU DE XI YINGYANG

周成河 张凤英 乐义成 编著

图书在版编目 (CIP) 数据

植物的硒营养 / 周成河, 张凤英, 乐义成编著. —
武汉: 湖北科学技术出版社, 2017.6 (2018.12 重印)
ISBN 978-7-5352-9168-4

I. ①植… II. ①周… ②张… ③乐… III. ①硒—植
物营养—研究 IV. ①Q945.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 073002 号

责任编辑: 李海宁 (215914032@qq.com)

封面设计: 曾雅明

出版发行: 湖北科学技术出版社

电话: 027-87679468

地址: 武汉市雄楚大街 268 号

邮编: 430070

(湖北出版文化城 B 座 13-14 层)

网址: <http://www.hbstp.com.cn>

印刷: 武汉惜木印刷有限公司

邮编: 430205

880×1230 1/32

9.25 印张

233 千字

2017 年 6 月第 1 版

2018 年 12 月第 2 次印刷

定价: 24.00 元

本书如有印装质量问题 可找本社市场部更换

内容提要

本书分上下篇,上篇为植物营养基础,下篇为硒营养。上篇内容为,第一章土壤养分的生物有效性,第二章养分的吸收,第三章养分的运输和分配,第四章矿质营养与植物生长、产量和品质的关系,第五章植物对逆境土壤的适应性。下篇内容为,第六章硒的发现、分布及营养作用,第七章硒的检测,第八章硒肥。

前 言

恩施自治州是全球罕见的高硒地区,境内拥有独立的硒矿床,约2万 hm^2 富硒土壤,富硒生物资源十分丰富。1981年,杨光圻研究员在《中国医学科学院学报》上发表研究资料,并称恩施高硒区是“中国第一高硒区”,被联合国粮农组织、世界卫生组织、国际原子能组织给予推荐,有“中国硒谷”“世界硒都”“世界生物硒库”的美誉,恩施硒资源在国际上有着极高的地位及价值。

一个地区的优势资源就是该地区最大的特色资源。在我国大力发展健康产业的大背景下,恩施的硒资源得天独厚,优势十分明显。如果将硒资源优势转变为产业优势、商品优势和经济优势,需要站在大健康产业的高度来谋划兴办某种企业、研发某种产品。

湖北省委、省政府高度重视并大力支持恩施自治州硒资源开发,硒产业也成为恩施州委、州政府着力打造的骨干支柱产业,恩施富硒产业的发展正处于方兴未艾之时,并有着良好的发展前景。恩施职业技术学院是恩施州人民政府主办的高等职业技术学院,服务恩施州富硒产业发展是学院的神圣使命。为做好该项工作,学院开发了硒产业生产、硒产品检测、硒产品营销专业,并成立了富硒产业发展技术服务团队。为进一步做好富硒产业发展人才培养工作,我们组织力量编写了系列教材或专著。《植物的硒营养》是本小组经过两年多时间完成,在整个编写的过程中得到了彭祚全教授、向极钊教授的指导,在此一并表示感谢!

本书可作为硒产品生产、硒产品检测、硒产品营销的教材,也可作为富硒产品生产者的技术参考书。在编写过程中参阅了大量资料,文献附书末。由于编者水平有限,错漏之处在所难免,希望广大读者提出宝贵意见,以期后续修订。

恩施职业技术学院生物工程系主任、教授:周光龙

2016年6月28日

目 录

上篇 植物营养基础

第一章 土壤养分的生物有效性	(2)
第一节 土壤养分的化学有效性	(3)
一、化学浸提的有效养分	(3)
二、养分的强度因素与容量因素	(10)
第二节 土壤养分的空间有效性	(13)
一、养分的位置与有效性	(13)
二、养分向根表的迁移	(14)
三、影响养分移动性的因素	(18)
第三节 根系生长与养分有效性	(20)
一、植物根的特性	(20)
二、影响根系生长的环境因素	(24)
第四节 植物根际养分的有效性	(29)
一、根际离子浓度的变化	(29)
二、根际 pH 值	(33)
三、根际氧化还原电位	(37)
四、根分泌物	(39)
五、根际微生物	(42)
第二章 养分的吸收	(46)
第一节 养分进入根细胞的机理	(46)

一、根细胞对养分离子积累的特点	(46)
二、根质外体中养分离子的移动	(47)
三、离子的跨膜运输	(51)
第二节 影响养分吸收的因素	(61)
一、介质中养分的浓度	(62)
二、温度	(67)
三、光照	(67)
四、水分	(68)
五、通气状况	(69)
六、土壤反应(pH 值)	(69)
七、离子理化性状和根的代谢作用	(71)
八、离子间的相互作用	(73)
九、苗龄和生育阶段	(77)
第三节 叶片和地上部分其他器官对养分的吸收	(79)
一、植物叶片的结构及组成	(79)
二、叶片对气态养分的吸收	(80)
三、叶片对矿质养分的吸收	(80)
四、叶面营养的特点及应用	(81)
五、影响根外营养的因素	(83)
第三章 养分的运输和分配	(91)
第一节 养分的短距离运输	(91)
一、质外体和共质体运输途径	(91)
二、运输部位	(94)
三、养分进入木质部	(95)
第二节 木质部的长距离运输	(97)
一、木质部运输	(97)
二、韧皮部运输	(104)
第三节 植物体内养分的循环	(108)
第四节 养分的再利用	(110)

一、养分再利用的过程	(110)
二、养分再利用与缺素部位	(111)
三、养分再利用与生殖生长	(113)
第四章 矿质营养与植物生长、产量和品质的关系	(114)
第一节 矿质养分与植物生长	(114)
一、养分效应曲线	(114)
二、影响养分效应的因素	(115)
第二节 源-库关系与产量	(116)
一、同化产物的运输及其调节	(117)
二、源-库的转化	(119)
三、植物激素在源-库关系调节中的作用	(120)
四、源-库关系与产量形成	(122)
第三节 矿质营养对源-库及其相互关系的影响	(123)
一、矿质营养对源的影响	(123)
二、矿质营养对库的影响	(124)
三、矿质营养对源-库关系的影响	(128)
第四节 矿质营养与品质的关系	(129)
一、矿质营养与植物的品质	(129)
二、矿质营养与种子活力和品质的关系	(136)
第五章 植物对逆境土壤的适应性	(138)
第一节 酸性土壤	(138)
一、酸性土壤的主要障碍因子	(138)
二、植物对酸性土壤的适应机理	(145)
第二节 盐渍土	(152)
一、盐渍土盐分危害的原因	(153)
二、植物的耐盐机理	(155)
第三节 石灰性土壤	(159)
一、石灰性土壤的主要障碍因子	(160)

二、植物对石灰性土壤的适应机理	(163)
第四节 渍水和淹水土壤	(170)
一、淹水对植物的不良影响	(170)
二、植物对淹水条件的反应	(171)
三、植物对缺氧环境的适应性	(173)

下篇 硒营养

第六章 硒的发现、分布及营养作用	(176)
第一节 从原因不明的疾病到硒资源的发现及分布 ...	(176)
一、从高硒石煤的发现到独立硒矿床的证实	(177)
二、硒资源的分布	(183)
三、从基础研究到开发利用研究	(183)
第二节 以硒营养、硒产业为载体助推相关产业 的发展	(185)
第三节 硒的营养功能及生理需要量	(194)
一、硒的营养功能	(194)
二、生理需要量	(196)
第七章 硒的检测	(203)
第一节 样品的预处理	(203)
第二节 荧光光度法	(208)
第三节 原子吸收光谱法	(209)
一、石墨炉原子吸收法	(210)
二、氢化物发生原子吸收法	(211)
第四节 原子发射光谱法	(212)
第五节 原子荧光光谱法	(215)
第六节 色谱法	(217)
一、气相色谱法	(217)

二、高效液相色谱法	(219)
第七节 加速器质谱法	(221)
第八节 电感耦合等离子体质谱法	(224)
一、电感耦合等离子体质谱法	(224)
二、激光剥蚀—电感耦合等离子体质谱法	(229)
第九节 中子活化分析法测定硒	(233)
第十节 硒的形态分析	(237)
一、电泳分离与检测	(239)
二、色谱分离与检测	(240)
第十一节 微量含硒蛋白分离检测技术进展	(250)
一、基于凝胶电泳的含硒蛋白检测技术概述	(251)
二、LA-ICP-MS 检测凝胶分离后蛋白质中的硒 ...	(252)
三、CapHPLC-ICP-MS 和 NanoHPLC-ICP-MS 检测含硒蛋白	(253)
四、MALDI-TOF-MS 识别含硒蛋白	(255)
五、Nano HPLC-ESI-MS/MS 鉴别含硒蛋白	(256)
六、存在的问题	(258)
第八章 硒肥	(264)
第一节 硒肥的种类	(264)
一、无机富硒肥	(265)
二、有机富硒肥	(265)
三、基施富硒肥和叶面富硒肥	(266)
第二节 新型富硒肥	(266)
一、生物富硒肥	(266)
二、纳米富硒肥	(267)
三、缓释富硒肥	(268)
第三节 富硒肥对农作物富硒的影响	(269)
一、富硒肥对农作物硒水平的影响	(269)
二、富硒肥对粮食作物硒含量及硒形态的影响	(269)

三、富硒肥对蔬菜作物硒含量及硒形态的影响	(270)
四、富硒肥对果树作物硒含量及硒形态的影响	(270)
五、富硒肥对真菌硒含量及硒形态的影响	(270)
六、富硒肥对农作物的产量和品质的影响	(271)
第四节 富硒种植业发展情况	(273)
一、富硒种植业的种类及面积规模	(274)
二、富硒种植业的效益分析	(274)
参考文献	(278)

上篇 植物营养基础

硒在农牧业中的应用,已得到世界范围的广泛重视。长期以来很多学者就关于植物对硒的吸收利用、代谢与其他元素一样进行了深入的研究,只是对硒的研究起步晚一些,在研究植物硒营养的进程中也取得了一些可喜的成就。黄开勋、薛泰麟、彭祚全、邢丹英等的研究提示,硒也可能是高等植物的必需微量元素,而且已有很多报道表明喷洒硒剂溶液或施硒肥对农作物的生长及产量具有促进作用,因此在低硒地区给植物补硒可能获得增产效果。早在1957年硒就被确认为动物的必需微量元素。摄入的硒不能满足动物生理需要,常会发生硒缺乏症,如大鼠的肝坏死、牛和羊的白肌病等;但摄入过量的硒,又将导致硒中毒。从畜牧生产来看,硒中毒造成的影响并不大,而由硒缺乏造成的经济损失是极其严重的,由缺硒的亚临床状态引起的潜在的损失更是不可估量的。因此,世界各国对动物缺硒特别重视。目前主要通过以下两种途径来维持动植物正常生长所需硒水平:①添加硒化合物于饲料中或直接给畜禽注射、服用含硒药物;②增加土壤含硒量,喷洒硒剂溶液于植株上以提高植物含硒量等。通过食物链来完成土壤—植物(微生物)—动物—人的硒传递。本篇从五个方面来阐述硒营养,第一章土壤养分的有效性;第二章养分的吸收;第三章养分的运输和分配;第四章矿质养分与植物生长、产量和品质的关系;第五章植物对逆境土壤的适应性。

第一章 土壤养分的生物有效性

一般情况下土壤中各种植物营养元素的全量很丰富,但大部分不能被植物直接吸收利用,对植物来说是无效的,只有少部分在短期内能被植物吸收的土壤养分才称为植物的有效养分。土壤养分的有效性有三层含义,即化学有效性、空间有效性和生物有效性。按照 Barber(1984)的定义,土壤中的有效养分(或简称为土壤有效养分)是指根系能够接触到,并被植物吸收且能影响其生长速率的养分。这就明确要求植物有效养分不但在化学形态上,而且在空间上都应该是对植物有效的,且在数量上能够满足植物的营养需要。“有效养分”(available nutrient)概念的提出,最早来自于土壤化学家。在对土壤进行了大量的化学分析之后,发现土壤中各种营养元素的全量是较丰富的,但个量差异很大。但是,其中绝大部分对植物却是无效的。由于当时这一概念尚处于笼统与模糊状态,许多人回避这一术语。经过大半个世纪以后,随着农业增产对科学施肥的要求不断提高,随着土壤学、植物学、植物营养学等多学科的共同关注与交叉研究的发展,关于“土壤养分有效性”(soil nutrient availability)或“土壤养分生物有效性”(soil nutrient bioavailability),无论是在概念的确立与延伸方面,还是在测定方法与定量化的研究方面都有了长足的进展。

“土壤有效养分”(soil available nutrient),是指土壤中能直接为当季作物吸收利用的那一部分养分。量化地研究土壤的有效养分及其影响因素,有利于推广配方施肥,进而推动农业增产增收、绿色生产有着重要的意义。

按说,测定土壤有效养分最直接的方法是通过田间施肥对比试验,观测植物的生长效应。但是这种方法既耗时,又难以推广应用。相比之下,土壤化学分析即土壤养分测定,却是一种快速

而成本较低的方法,其结果可以用于配方施肥。

在土壤化学分析基础上建立起来的“有效养分”概念:是指土壤中那些能被植物根系吸收的无机态养分以及在植物生长期由有机态释放出的无机态养分。如土壤中的氮、硫、硒等元素绝大部分是以有机形态存在,可以通过矿化作用转化为无机形态。20 世纪下半叶,随着植物营养学与植物生理学的发展,对于“土壤有效养分”的研究不只停留于养分形态的化学分析,而是延伸到植物根如何从土壤中获取养分的过程,以及植物从土壤中能得到多少养分,进而提出了矿质态养分向根迁移的方式与速率问题。植物根系对土壤养分的生物有效性的影响,以及“根际”与“土体”之间养分有效性的差异等。总之,进入了对养分吸收的主体——植物与“土壤养分有效性”相互作用的综合研究。提出并发展了“土壤养分生物有效性”概念。美国土壤学家 S. A. Barber 教授在他的“土壤养分生物有效性”专著中指出:“生物有效养分(bioavailable nutrient),系指存在于土壤的离子库中,在作物生长期能够移动到位置,紧挨植物根的一些矿质养分。”也可以说,土壤养分生物有效性的含义有三方面:

- (1) 土壤中矿质态养分的浓度、容量与动态变化;
- (2) 根对养分的获取与养分向根表迁移的方式与速度;
- (3) 在根系生长与吸收的作用下,土壤中养分的有效化过程以及环境对养分有效化的影响。

第一节 土壤养分的化学有效性

化学有效养分是指土壤中存在的矿质态养分。可以采用不同的化学方法从土壤样品中提取出来。化学有效养分主要包括可溶性的离子态与简单分子态养分;易分解态和交换吸附态养分以及某些气态养分。

一、化学浸提的有效养分

(一) 化学有效养分的提取

提取土壤有效养分的化学浸提剂种类很多,常因营养元素和土壤类型的不同而异。在提取原理上除纯化学法外,还有物理化学方法等。由于阳离子形态的养分,主要存在于土壤溶液中被吸附于土壤有机-无机复合体上,因此,用过量的阳离子浸提剂可将土壤样品中各种交换态和几乎全部的可溶态阳离子提取出来,然后,对提取液定量测定,将所得数值作为土壤有效养分的含量。

表 1-1 不同浸提剂提取 15 种土壤所测得有效磷的平均含量

	测定方法	浸提液种类	有效磷(P) /mg. kg ⁻¹
1	Olsen 法	NaHCO ₃	24.9
2	Machiqin 法	(NH ₄) ₂ CO ₃	23.9
3	Al - Abbas 法	NaOH + Na ₂ C ₂ O ₄	30.4
4	双酸法	HCl + H ₂ SO ₄	29.4
5	Mehlich 法	HAc + NH ₄ NO ₃ + NH ₄ F + HNO ₃ + EDTA	70.1
6	Soltanpour 法	NH ₄ HCO ₃ + DTPA	14.8
7	MeugepqkoB 法	(NH ₄) ₂ C ₂ O ₄ + NH ₄ HCO ₃	46.9

李酉开,朝琅丰等,1983。

土壤中有有效态阴离子的提取,以土壤有效磷为例,所选择的浸提剂要求其提取土壤中易分解的有机态磷,易溶解的无机态磷和部分的胶体吸附态磷。针对不同土壤上各种形态磷的组分与比例不同,以及磷酸盐的类型不同,可以有多种有效磷的浸提剂。石灰性土壤上常采用奥尔逊(Olsen)法,该法提取剂是 0.5mol/L NaHCO₃ (pH 8.5)。

近来,也有用电超滤法提取土壤有效养分的。此法是将土壤悬浊液置于电场下,通过改变电压和温度,分别提取出不同吸附态的养分。在低电压条件下,分离出的养分量少,其结果与土壤溶液中的养分浓度相关性较高;而在高电压时,提取出的养分量多,其结果就与土壤中吸附态养分相关性高。通过大量生物试验表明,用电超滤法提取的土壤有效钾比化学方法测定的交换钾能更好地反映出土壤有效钾的含量水平。

硒(Se)是环境中的重要生命元素,其通过粮食、蔬菜和牧草等进入人和动物的食物链,如果食物中 Se 的含量过低或过高,均可能引起人和动物的各种病变,环境中的总量 Se 并非全被植物吸收利用,只有其有效态 Se 才可进入植物体,因此,研究 Se 的生物有效性十分重要。

在生物试验中,较多使用的是盆栽或小区试验,但由于周期长,条件难以控制,且不够经济,应用受到一定限制。黑麦幼苗法由 Neubauer 及 Schneider 于 1923 年首先提出,用以测定土壤中营养元素的有效性。通过黑麦幼苗试验对土壤 Se 的生物有效性进行测定;利用盆栽试验,研究添加到酸性土壤上的 Se(VI)、Se(IV)对黑油菜生长的影响及黑油菜对其吸收情况;结合田间试验研究土壤有效 Se 与植物吸收 Se 的关系。

用黑麦幼苗试验:

试验器皿为 1000mL 烧杯,备内径 6mm 长 70mm 的玻璃管,作加水之用。石英砂选用 0.6~2.0mm 粒径,以 1mol/L HCl 浸泡 1d 后,用自来水洗涤至无酸性,再用去离子水洗涤至无 Cl^- , 105℃ 烘干,黑麦种子用最近一年收获的干燥秋播种子,千粒重为 37~40g,发芽率大于 95%。用 0.5g 氯代酚汞加入 3.7mL 浓度为 1mol/L 的 NaOH 溶液,加 500mL 水配成消毒溶液,将种子浸泡 1.5h,然后在干滤纸上晾干。试验前 1d,在 20℃ 保温箱中催芽(约 10h)。将 100g 已过 1mm 筛孔的土壤与 50g 石英砂充分混匀,平铺于试验皿中,中间插入玻璃管作浇水用,均匀放入 100 粒催过芽的黑麦种子,稍压实,在其上铺 250g 石英砂,加入 80mL 去离子水,烧杯用表面皿覆盖,用火柴棒垫起。对照盆装法,同样,仅在盆底倒入 150g 石英砂,试验设 3 次重复。黑麦幼苗试验的土样均采自陕西紫阳富 Se 区的 2 个土壤剖面 and 6 个不同样点的富 Se 土壤。

将盆置于温室内,调节温度为 $20 \pm 2^\circ\text{C}$ 。全天以日光灯照射(避免日光直接照射),使其受光均匀,每天通过称重补充损失的水,利用滴定管经过玻璃管加水,试验后期可每天加水 2 次。播种 14d 后,把盆内幼苗连同泥沙一起移于 1mm 孔径的尼龙筛上,

用自来水冲去泥沙。地上部分用去离子水洗净,洗好的幼苗及根系在 60℃ 烘干,称重,以通用方法消解后测定有关项目。

用黑油菜试验:

独立试验设 5 个处理,完全随机区组设计,重复 4 次,5 个处理按 Se(VI) 和 Se(IV) 比率为 2.0:0、1.5:0.5、1.0:1.0、0.5:1.5、0:2.0,使每个处理的总 Se 量保持为 2.0mg/kg,同时设空白处理。选择内径为 13cm、深度为 13cm 的盆子,每盆装土 1.5kg,每千克土施入 0.23gN、0.1gP 和 0.1gK,播种黑油菜(西农 1 号,由西北农林科技大学蔬菜站提供,发芽率为 98%),出芽后 2 周定苗,每盆 20 株,植株生长期全部浇灌去离子水,7 周后采集地上部分,将新鲜植株于 80~90℃ 下烘干 15min,杀死活性酶,再于 55℃ 恒温下烘干,称重。将植株粉碎后备测全 Se,供试土样均采自陕西紫阳县富 Se 区。

用 0.1mol/L KH_2PO_4 溶液作为紫阳县酸性土壤中生物有效性 Se 的浸提溶液。

表 1-2 紫阳县富 Se 区土壤及黑麦幼苗中的 Se

项 目	土样号										
	H1	H2	H3	H4	H5	H6	G7	G9	G10	G11	G13
	黑麦幼苗试验										
土壤总 Se 量(mg/kg)	23.53	17.05	5.95	2.76	1.85	0.41	1.49	1.88	1.99	2.93	0.37
干重(g)	4.37	3.64	2.02	2.58	2.43	2.24	2.69	2.74	2.56	2.44	2.63
叶 Se(mg/kg)(Y1)	0.55	0.12	0.10	0.16	0.07	0.06	0.07	0.10	0.09	0.06	0.03
根 Se(mg/kg)(Y2)	1.86	0.79	0.27	0.64	0.48	0.04	0.57	0.70	0.43	0.71	0.11
全 Se(mg/kg)(Y3)	2.41	0.91	0.37	0.80	0.56	0.10	0.64	0.80	0.51	0.77	0.14
W. Y3(mg)	10.51	3.29	0.74	2.07	1.90	0.22	1.72	2.81	1.31	1.87	0.37
土壤有效态 Se(μg/kg)											
水浸-Se(X ₁)	56.38	13.03	4.71	24.37	4.21	1.12	5.83	23.15	15.67	11.68	2.21
KH ₂ PO ₄ -Se(X ₂)	331.78	209.70	64.58	82.19	49.11	5.99	54.50	69.00	63.35	43.31	60.76
NaHCO ₃ -Se(X ₃)	157.20	97.62	38.75	75.57	29.09	6.81	74.87	79.45	63.38	19.12	31.06