

沧州金丝小枣主产区气候及农业地质背景分析

刘宁, 邱红绪, 张毅功*

(1. 河北农业大学资源与环境科学学院, 河北保定071001; 2. 河北省地堪局河北地质五队, 河北唐山063100)

摘要 通过对沧州主产区金丝小枣生长的气候和土壤适宜条件与沧州当地的气候、土壤及地质地貌特征的对比分析, 认为沧州多春旱, 夏季温度适宜, 光照充足, 氮、磷和钾等大量元素和有机质以及微量元素充足, 土壤结构适宜, 盐碱土壤等条件, 不仅适宜小枣生长, 还造就了沧州金丝小枣优良的品质。

关键词 金丝小枣; 气候; 农业地质背景; 品质

中图分类号 S665.1 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2008)30-13112-04

Analysis of the Agrogeological Background and Climate of Main Golden Silk Jujube Production Area in Cangzhou

LIU Ning et al. (College of Resource and Environment Science, Agriculture University of HeBei, Baoding, HeBei 071001)

Abstract The difference of the climate and beneficial soil condition between main Golden Silk Jujube production area and Cangzhou local condition was compared and analyzed. The results showed that the drought was more in springtime, temperature was fitting in summer, having plentiful sunlight in Cangzhou. The macro element of N, P and K and so on, organic matter and microelement were abundant. The soil structure was adequate. The conditions of salt alkali soil and so on not only fit growing of Cangzhou golden silk jujube, but also bring up good quality.

Key words Golden silk jujube; Climate; Agrogeological background; Quality

枣树原产我国, 是我国重要的特产果树之一, 迄今有4 000多年的栽培历史。枣树属鼠李科、枣属, 金丝小枣为其中最好的红枣品种之一, “金丝小枣”原产地沧州又名河西红枣。金丝小枣肉厚, 皮薄, 味甜, 横着掰有细丝拉开, 故有金丝小枣之称^[1]。

金丝小枣具有皮薄、肉厚、口感好、糖类和蛋白质含量丰富等诸多特点, 中医认为枣主治心腹、养脾气、平胃气、通九窍、助十二经、补气安神、生津和百药, 久服轻身延年。现代医学证明, 枣有保护肝脏、增强肌力的作用^[2]。

以往及当前关于金丝小枣的研究主要集中在地方品种选育^[3-4]、高产优质栽培管理^[5-8]、多种病虫害防治^[9-11]、树体整形修剪^[12-13]、无公害生产^[14-15]、激素调节生长和储藏加工等方面^[16-17], 而对土壤营养和营养诊断研究非常薄弱, 缺乏区域农业地质背景资料支撑下的元素迁移规律与枣树营养、食品安全等方面的研究。

近年来, 国内外对农业地质学的发展日趋重视, 而平原区是农业发展的重要地区, 堆积物来自远距离搬运, 其岩土地球化学特征已无法与当地基岩找出简单的对应关系, 水文地球化学作用十分复杂, 人们还很少系统研究这种独特的农业生态地质环境^[18]。

金丝小枣农业生态地质环境研究就是根据这种构想, 力图结合沧州国民经济发展需要, 为开拓地质—农业科学交叉领域, 填补平原区农业地质研究的空白所做的一次尝试。该区地质环境的空间展布及其元素在岩(矿)石—土壤—水—植物—人体环境生态链中的赋存状态、迁移特征及循环过程, 构成了制约该区农业生态的重要因素。

因此, 笔者研究了沧州金丝小枣产区的农业地质, 以期

为金丝小枣优质高产的深入研究提供理论依据和技术支持。

1 沧州金丝小枣分布概况

沧州金丝小枣具有悠久的栽培历史, 产区遍及沧州地区。金丝小枣主产区实际上是指位于大运河两岸的河北省沧县、献县、交河、盐山和河间等地。金丝小枣主要分布概况详见表1。

表1 沧州地区金丝小枣分布

Table 1 Distribution of golden silk jujube in Cangzhou

分布区	种植面积 hm ²	株数 万株
Distribution area	Planting area	Plant number
沧州 Cangzhou	137 544	12 229
沧县 Cang County	40 967	3 644
献县 Xian County	31 321	2 793
泊头 Btou	23 820	2 493

由表1可知, 沧县、献县、泊头金丝小枣种植面积占整个沧州地区种植面积的69.8%, 而种植株数占整个沧州地区的73%。其中, 沧县和献县已被誉为中国的“金丝小枣之乡”。由于现在沧州地区金丝小枣主要种植在沧县、献县和泊头, 而在黄骅等地也有零星分布, 所以笔者研究的金丝小枣产区主要是指沧县、献县、泊头和黄骅4个县区。

2 沧州地区气候条件和金丝小枣的生长气候分析

河北省沧州地区属暖温带半干旱半湿润大陆性季风气候。年平均气温13.0℃, 年际变化不大, 但各月之间差距悬殊, 1月平均气温-4.7℃, 7月26.7℃。日均气温高于10℃的持续天数为193 d, 日照时数为2 840 h, 占可照时数的65%。多年平均降水量为554.9 mm, 年际变化显著。年内降水主要集中在夏季, 占全年降水量的73.2%, 年均蒸发量2 003.9 mm, 为全年降水量的3.5倍^[18]。这种特有的气候为金丝小枣的生长提供了有利条件(金丝小枣对气候条件的要求参照表2)。

仅从沧州的气候条件来看, 该地区气候满足金丝小枣生长的要求, 而且为金丝小枣的生长提供了适宜的气候条件。

李连起等研究表明, 春夏之交枣树开花座果期的空气相对湿度是影响花期授粉、受精、枣花座果的主导因子; 在同区

基金项目 国土资源部及农业厅河北省农业地质调查项目(200040007-3-5)。

作者简介 刘宁(1982-), 男, 河北正定人, 硕士研究生, 研究方向: 土地资源利用。* 通讯作者, 博士, 教授, 博士生导师。

收稿日期 2008-09-12

不同年份,气候条件的变化也会影响枣树物候期和产量的变化。并且发现在诸多气候因素中,金丝小枣产量与春夏之交(5~6月)枣树开花座果期间的降水量、大田林间空气相对湿度大小关系密切^[19]。

由此可见,气候条件对金丝小枣的生长起着关键性的作用。该地区的气候条件是金丝小枣优质高产的根本条件。

表2 金丝小枣生长的气候条件

Table 2 Climate condition of golden silk jujube growth

种植指标	适宜程度指标
Planting index	Suitable degree index
年平均气温 10	6月下旬平均气温23~25
年极端最低气温 -30	4月下旬平均气温 16
7月份气温 25	6月份降水量60~90 mm
9月份降水量 70 mm	9月份日照总时数 240 h

注:种植指标指枣树成活对气温和降水的要求指标;适宜程度指标指枣树收获对气温、降水和日照的要求指标(据泊头市农业区划办公室:综合农业区划资料)。

Note:Planting index stands for the required index of temperature and precipitation for jujube survival. Suitable degree index stands for the required index of temperature, precipitation and sunshine for jujube harvest. Data came from the comprehensive agricultural regionalization data by Agricultural Regionalization Office of Botou City.

3 沧州地区农业地质环境

3.1 土壤母质状况分析 金丝小枣品质与当地土壤及母质有很大关系。据资料记载,沧州金丝小枣主要栽培在潮土

上,少部分种植在盐碱地上^[20]。沧州地区潮土土壤母质主要由近代河流冲积物和沉积物组成,占总比例的96.48%。母质来源主要是海河水系冲积物,其中滹沱河曾流经变质岩区和黄土区,沉积物中含云母和大量的黑色矿物,质地偏粗,粗粉沙占45%,细砂占35%;滏阳河主要流经石灰岩、红黄土区,沉积物比较细,携带沉积物偏粘,细粉沙和粘粒含量占50%~70%,所以沿滏阳河一带是粘土沉积。

不同河系沉积物粗细都不尽相同,而且由于河流多次泛滥会影响土壤不同质地的排列,不同的土体构型会影响土壤的养分含量及有效性,因此,沧州地区土壤及母质是沧州金丝小枣优质的主要原因之一。

3.2 土壤质地及地貌类型与土壤养分的关系 土壤质地在一定程度上影响着土壤的质量和耕层土壤养分含量。沧州地区土壤主要有沙壤质潮土、轻壤质潮土和中壤质潮土3种土壤类型。大量磷、钾对枣树根系的发育具有良好的作用,有利于枣树的长势和寿命,尤其是钾素,不仅促进作物体内酶的活化,而且对提高光合产物起重要作用。在小枣成熟前期,对枣果糖输送和积累更为重要^[21]。

由表3可知,在某种程度上养分元素与有机质含量呈正比关系,对于轻壤质潮土,其耕性好,但养分含量变化幅度较大,如加强管理,可以发展成为高产田。

从以上不同土壤质地的养分含量来看,土壤有机质、全氮、全磷、速效磷与土壤质地相关,即在以上几种土壤质地中,中壤质潮土沙壤适中,孔隙适宜,肥力最高。

表3 金丝小枣主产区各种土壤耕层养分含量

Table 3 Soil nutrient content of golden silk jujube production area

主产区	土壤质地	有机质 %	全氮 %	碱解氮 mg/kg	速效磷 mg/kg	速效钾 mg/kg
Main production area	Soil texture	Organic matter	Total N	Alkaline hydrolytic N	Rapidly available P	Rapidly available K
沧县 Cang County	沙壤质 Sandy soil	0.465	0.018 0	19.2	3.10	167.0
	轻壤质 Light loam	0.851~1.030	0.260 0	19.2	2.80~6.10	112.0~154.0
	中壤质 Medium loam	0.973	0.061 0	41.0	3.90	150.0
献县 Xian County	沙壤质 Sandy soil	0.667	0.035 0	41.0	2.20	62.6
	轻壤质 Light loam	0.823	0.056 0	53.0	4.90	77.1
	中壤质 Medium loam	0.978	0.065 0	51.0	2.50	72.0
泊头 Botou	沙壤质 Sandy soil	0.879	0.075 0	47.0	5.97	197.0
	轻壤质 Light loam	0.930	0.068 0	55.5	4.94	209.0
	中壤质 Medium loam	1.020	0.080 0	55.5	5.04	198.0
黄骅 Huanghua	沙壤质 Sandy soil	0.500	0.042 0	48.0	3.60	91.0
	轻壤质 Light loam	0.840	0.054 0	55.0	6.50	172.0
	中壤质 Medium loam	1.220	0.060 0	66.0	5.60	169.0

注:据沧县、献县、泊头和黄骅土壤志,第二次土壤普查数据资料。

Note:Data came from the Cang County, Xian County, Botou and Huanghua Soil the second national soil survey data.

微量元素锌是植物多种酶的组成部分,也是一些酶的激活剂与抑制剂。而且是氮代谢和蛋白质合成的核心^[22]。锰是许多酶的活化剂,最近的研究表明,23种金属-酶复合物需要锰激活。锰参与光合作用与氮代谢,有维持叶绿体膜正常结构的作用。锰还有调节植物体内氧化还原电位的作用,而且能促进磷的利用和提高植物组织的持水能力,降低蒸腾强度^[23]。

邵世雄等研究表明,金丝小枣的品质与土壤中微量元素有关,而且在适量元素含量范围内,金丝小枣品质与果实中铁元素含量呈正相关关系^[18]。沧州金丝小枣主产区土壤部分微量元素含量如表4所示。

由表4可知,在研究区内铁元素含量比较丰富,这是沧州金丝小枣品质优质的一个重要因素,而锌元素普遍比较缺乏,锰和铜元素含量处在适量范围中。所以,沧州金丝小枣优良品质可能与微量元素铁、锰、铜和锌的配比存在一定关系。

另外,土壤养分含量与沧州地区地貌类型也有很大关系,不同地貌类型具有不同的土壤类别,所以不同地貌类型其有机质和大量元素氮、磷、钾含量也会有很大差异(表5)。

由表5可知,土壤类型和地貌条件不同,土壤养分呈现区域性差异。从土壤潜在肥力的有机质和全氮来看,以浅平洼地最高,缓岗和小二坡地最差。耕作管理水平的差异也会

引起土壤养分含量的变化,其中蒙金地生产管理水平最高,所以其土壤养分含量也相对较高。

分析献县土壤资料表明,该县中部、南部及东部土壤肥

力较高,北部处在中等水平。沿河两侧的最差。从土体构型上看,底粘、体粘类型的土壤养分含量较高,均质的居中,夹粘和漏沙的最差。

表4 沧州金丝小枣主产区土壤微量元素含量

Table 4 The content of trace element in Cangzhou golden silk jube area

地区 Area		有效铁 Available Fe	有效锰 Available Mn	有效铜 Available Cu	有效锌 Available Zn
国家分级标准	适量 Proper amount	4.50 ~10.00	1.00 ~2.00	0.20 ~0.50	2.00 ~4.00
National grading standard	毒害量 Toxic quality	50.00	40.00	5.00	8.00
沧县 Cang County		4.40 ~11.30	3.20 ~7.50	0.78 ~2.20	0.18 ~2.22
献县 Xian County		6.12	5.37	1.33	0.30
泊头 Btou		4.50 ~10.0	1.00 ~6.40	0.62 ~5.60	0.20 ~1.98
黄骅 Huanghua		7.01	3.28	1.26	0.43

注:据沧县、献县、泊头和黄骅土壤志,第二次土壤普查数据资料。

Note: Data came from the Cang County, Xian County, Btou and Huanghua Soil, the second national soil survey data.

表5 献县不同地貌类型养分含量

Table 5 Nutrient content of different geomorphological types in Xian County

地名 Place name	土壤类型 Soil type	有机质 % Organic matter	全氮 % Total N	碱解氮 ng/kg Alkaline hydrolytic N	有效磷 ng/kg Available P	有效钾 ng/kg Available K
二坡地	蒙金土	0.935	0.0518	51.5	4.70	90.2
浅平洼地	黑红土	0.992	0.0541	54.3	4.50	100.0
缓岗	沙土	0.759	0.0428	45.4	4.50	102.0
小二坡地	盐渍土	0.730	0.0394	47.7	43.80	122.0

注:据献县土壤志,第二次土壤普查数据资料。

Note: Data came from the Xian County Soil, the second national soil survey data.

通过分析沧州金丝小枣主产区土壤养分得出,从农业地质角度来看,土壤钾、锌和锰等元素主要来源于成土母质的含钾、锌和锰等矿物的分解,沧州地区金丝小枣优质高产的主要因素是该区岩石、土壤等农业环境中适宜的有益元素含量和最佳营养元素的组合。

4 地质地貌背景分析

4.1 土壤地质 在平原地质历史的演变过程中,地貌是当地沉积环境的直接反映,是当时地质风化物质沉积的产物,而第四纪地质结构就是在第四纪地质历史变迁中形成的,它反映了第四纪地质历史的演变过程。从地表地貌和地下一定深度的地质体的结合分析可以追溯地质环境的变化与发展。

邵世雄等研究了浅层第四纪地质结构,沧州金丝小枣主产区划分为两个沉积阶段。第一阶段为地下2~5 m。其主要分布在现在的子牙河及其以西以北地区,齐桥、毛三庄以南以东地区,主要为河间洼地环境,沉积颗粒较细,以粘土、亚粘土为主。之间是河流多次泛滥改道所形成的河道带为主的环境,沉积物以粉砂、泥质粉砂为主。第二阶段为地下2 m以上。河流主要在现在的老盐河和西北部的黑龙港河、子牙河一带摆动。之间的广大地区成为河间带,沉积物以亚粘土、粘土为主,这里就是著名的金丝小枣产区^[18]。

地质环境对特色作物的作用主要表现在两大方面:一方面通过影响土壤理化性状而影响作物品质;另一方面通过地球化学元素影响土壤状况进而影响特色作物的品质^[24]。所以,研究沧州地区第四纪地质是研究土壤元素的迁移转化规律和金丝小枣品质的必要环节。

4.2 水文地质 孙国庆等对沧州区域总体水文地质特征进

行了全面总结:区域自西向东含水层厚度由厚变薄,颗粒由粗变细,赋水性由好变差,咸淡水界面由浅变深,水质由好变差。从沉积成因类型来看,多为海相、陆相和海相交互成因,具有多层水文地质结构和浅、中层赋存咸水的特点^[25]。

沧州地区地下水按地层及深度划分为5个含水组^[25]:第含水组深度0~50 m,运河以东矿化度大于2 g/L的咸水为主,最高的达8 g/L,运河以西大部分为淡水,主要用于郊区农业灌溉;第含水组深度50~150 m,60 m以上矿化度7~8 g/L,向下矿化度减小,最后变为3 g/L;第含水组深度为150~350 m,矿化度一般小于1 g/L,重碳酸氯化物——钠型水,是含氟量最高的一个水层,氟含量为5.5~6.9 ng/L;第含水组深度350~490 m,矿化度较第含水组略有升高,但氟含量较低,多为2.5~3.5 ng/L;第含水组深度大于490 m,含多种人体所需的微量元素。

由于该区几种含水组地下水资源与农业生产密切相关,并且从其中含水组中开采出来的地下水直接用于农业和果树的灌溉,地下水中元素会直接或间接参与金丝小枣的生长发育,几种含水组中地下水矿化度都很高,含有大量的矿质元素,所以该地区的水文地质条件也是形成特色金丝小枣的一个非常重要的因素。

4.3 地貌 该区地处华北冲积平原中下部,地势总体低洼平坦。西南部高,北部、东部较低,相对高差5 m左右。地形总坡降约为1/6 000。有多条古河道,呈微高地分布,其间是一系列洼地,构成“岗、坡、洼”有规律的条带状地貌。根据邵世雄等、李承绪等研究,该研究区可细分为以下几个次级地貌类型。古河道高地及现代河道。由河流故道残留形成的条带状微高地,地形相对较高,物质组成主要是粉砂及亚

砂土。由近代河流多次泛滥改道形成条带状及网状分布河道带,主要流向以西南-东北向为主,南部多以东西向为主。

缓岗。缓岗大致均呈沿古河道分布的条带状,缓岗间为相对低平的洼地。微斜地。是缓岗向洼地的过渡阶段,是冲积平原的主要组成部分,这种地貌对土壤变种的分布有明显影响。浅平洼地及易涝洼地。地处河道带之间沿河流方向发育的洼地,多呈长条形,坡度一般小于1/3 000。物质组成以粘土、亚粘土为主。古湖沼泽地。处于古河道高地之间,地势低洼,主要由淤泥质粘土组成,地下水位接近地面。

总的来说,冲积平原地形的演变符合河流沉积的规律,土壤营养元素含量在一定程度上与该区微地貌有一定关系,因此,该区地貌条件间接的影响到金丝小枣特色品质的形成。

5 金丝小枣优势分析及研究展望

综上所述,沧州金丝小枣的主产区的小枣品质优良主要有以下几个重要原因: 该区气候多春旱,夏季温度适中,光照充足,降水量适宜金丝小枣各个物候期的生长发育; 该区土壤元素含量满足了金丝小枣的生长发育,尤其是对金丝小枣品质起主要作用的元素铁的含量比较丰富; 该区特殊的地质背景、最优的岩土条件、最佳的有益营养元素组合、独特的地形地貌和水文地质条件,是金丝小枣品质极佳的奥秘所在; 今后金丝小枣的研究将会从农业地质中的有益元素入手,深入研究金丝小枣品质与有益元素的相关关系,并且今后的研究将密切结合人体健康来开展; 在该区水文地质第 含水组中无机元素氟的含量非常高,但元素氟是否与金丝小枣的优质品质相关还有待进一步研究探讨。

参考文献

- [1] 王茹芳,王庆雷,刘向荣.土壤性质对金丝小枣产量及品质的影响[J].土壤肥料,2003(5):38-40.
- [2] 李鲜花,王翠菊.金丝枣对小鼠衰老指标的影响[J].牡丹江医学院学报,2003,24(2):41-42.

- [3] 李志欣,刘进余,张立树,等.枣新品系金丝特3号的选育[J].中国果树,2006(5):13-14,28.
- [4] 车素英,董长明,柏鲁林.金丝魁王枣的选育及栽培技术[J].落叶果树,2004(2):17-18.
- [5] 罗永平,田敬义,于国治,等.金丝小枣优质丰产主要技术指树[J].落叶果树,2002(1):46-48.
- [6] 程炳连.金丝小枣优质丰产管理技术[J].河北果树,2003(1):50-51.
- [7] 刘博生.浅论提高金丝小枣产量的主要途径[J].河北果树,1997(3):27.
- [8] 曹金锋.无核金丝小枣密植早实丰产栽培技术[J].河北果树,2003(4):34.
- [9] 黄素芳,张立震,王建广.金丝小枣浆烂病防治技术研究[J].河北农业科学,2006(4):23-25.
- [10] 张立震,黄素芳,张立新,等.金丝小枣浆烂病发病规律研究[J].林业科学研究,2007,20(3):399-403.
- [11] 申艳普,李文娟,陈丛梅,等.金丝枣主要病虫害及综合防治[J].森林保护,2007(10):30-31.
- [12] 王奎武,孟德辉,李秀芬,等.金丝小枣整形修剪技术[J].落叶果树,1994(4):36.
- [13] 崔秀龙,沙胜华.密植金丝小枣树的整形与修剪[J].河北林业,1997(5):9.
- [14] 孙福来,李金枝,张秀慧,等.无公害金丝小枣生产技术[J].中国种业,2005(9):57-58.
- [15] 韩会智,张秀红,姜奎年,等.粘虫胶在金丝小枣无公害生产中的应用[J].河北林业科技,2006(2):24-25.
- [16] 徐呈祥,马艳萍,徐锡增,等.盐胁迫下外源硅调节金丝小枣根和叶片膜脂肪酸的研究[J].南京林业大学学报:自然科学版,2006(2):89-93.
- [17] 韩秀凤,金彦文.金丝小枣气调大帐贮藏技术[J].西北园艺,2003(10):47-48.
- [18] 邵时雄.果林农业生态地质研究[M].北京:科学出版社,1995:13-15.
- [19] 李连起,李秀芬,李炳光,等.金丝小枣物候期与气候条件关系的研究[J].林业科技通讯,1998(4):25-26.
- [20] 李承绪.河北土壤[M].石家庄:河北科学技术出版社,1990:15-16,220-221,419-422.
- [21] 郑世英,曾强成,沈亮,等.乐陵金丝小枣品质优良的气候与土壤生态分析[J].德州学院学报,2004(4):70-72.
- [22] 龚子同,顾国安,史学正.漠镜地区土壤元素地球化学及其在农业上的意义[J].环境地球化学应用研究论文集,1995:45-58.
- [23] 李英杰,杨秋荣,李红阳,等.张家口地区优质农作物与地质环境[J].安徽农业科学,2007,5(5):1464-1466.
- [24] 席冬梅,邓卫东,高宏光,等.云南省主要地质背景区土壤理化性质及矿物质元素丰度分析[J].土壤,2008,40(1):114-120.
- [25] 孙国庆.从沧州市水文地质条件谈开源节流的必要性[J].河北水利,2003(8):42.

(上接第13028页)

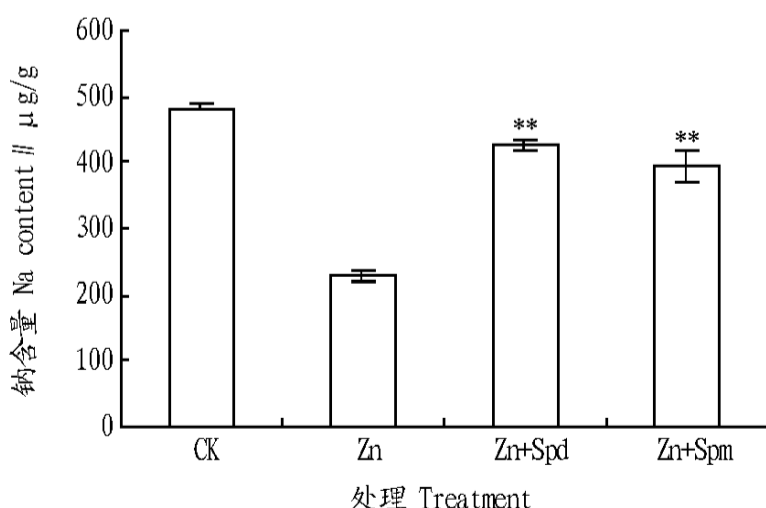


图4 多胺对锌胁迫下的水荷花叶片钠吸收的影响

Fig.4 Effects of PAs on Na absorption in *N. peltatum* leaves under Zn stress

的非必需元素,试验中所使用的Hbagand培养液中并没有钠,但由于野生水荷花生长的外界环境中含有一定的钠盐,因此,从水荷花叶中测到大量的钠元素(图4)。在锌胁迫下植物叶内的钠元素大量渗出,与对照相比,单一锌胁迫下的钠降低了52.8%($P < 0.01$),而外施Spd和Spm有效的缓解

了钠的渗出,这也从另一方面证明了Spd和Spm对质膜具有一定的保护作用。

3 小结

综上所述,100 μmol/L的锌处理导致锌在叶细胞中大量积累,其他各营养元素在细胞内失衡。外施0.1 mmol/L Spd和Spm均可有效缓解锌的诱导,维持各种营养元素在植物体内的平衡。

参考文献

- [1] 朱雪梅,林立金,邵继荣,等.锌铬复合污染对水稻根系抗氧化酶活性的影响[J].农业工程学报,2008,24(3):203-208.
- [2] 王学,施国新,马广岳,等.外源亚精胺对苜蓿抗 Hg^{2+} 胁迫能力的影响[J].植物生理与分子生物学学报,2004,30(1):69-74.
- [3] 王学,施国新,徐勤松,等.外源亚精胺缓解苜蓿(*Nymphoides peltatum*) G^{6+} 毒害的生理研究[J].环境科学学报,2003,23(5):689-693.
- [4] WANG X,SH GX,XU QS,et al. Exogenous polyamines enhance copper tolerance of *Nymphoides peltatum*[J]. Journal of Plant Physiology,2007,164:1062-1070.
- [5] ALI MB,CHUN HS,K MBK,et al. Calcium induced changes in antioxidant enzyme activities in rice (*Oryza sativa* L.cv. Dongjin)[J]. Journal of Plant Biology,2002,45(3):134-140.
- [6] 潘瑞焱,董愚得.植物生理学[M].3版.北京:高等教育出版社,1997.
- [7] MAKSYMIEC W. Effect of copper on cellular processes in higher plants[J]. Photosynthetica,1997,34(3):321-342.