

## 苗龄及 pH 值对不同基因型甜菜根际磷酸酶活性的影响

周建朝<sup>1,2</sup> 韩晓日<sup>1\*</sup>

(<sup>1</sup> 沈阳农业大学土地与环境学院, 辽宁沈阳 110161; <sup>2</sup> 黑龙江大学农学院, 黑龙江哈尔滨 150080)

**摘要:** 采用无菌液培法在甜菜生长的幼苗期进行了根系内源和分泌到根际的磷酸酶的影响因子研究。结果表明, 甜菜内源和分泌到根际的磷酸酶可同时存在酸性、中性和碱性 3 种形态。随着苗龄的变化, 不同品种的内源和根际的 3 种磷酸酶活性变化各异, 但在 20 d 后均明显下降。生长介质中的酸碱反应对甜菜根系各种内源磷酸酶的分泌具有明显的调控作用, 其中酸性和中性磷酸酶对 pH 的敏感程度显著高于碱性磷酸酶。甜菜 3 种磷酸酶分泌的最佳酸碱范围在 pH 6 ~ 7 之间; 不同基因型甜菜内源和根际的 3 种磷酸酶活性对环境 pH 变化的反应表现出明显的生物多样性。

**关键词:** 甜菜; 根际; 磷酸酶; 苗龄; pH 值

**中图分类号:** S566

## The Effects of Seedling Age and pH on Phosphatase Activity of Rhizosphere in Different Sugar Beet Genotypes

ZHOU Jian-Chao<sup>1,2</sup>, HAN Xiao-Ri<sup>1</sup>

(<sup>1</sup> Land and Resource College, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, Liaoning; <sup>2</sup> Agricultural College, Heilongjiang University, Harbin 150080, Heilongjiang, China)

**Abstract:** Soil organic phosphorus has to be hydrolyzed before it can be used by plants, rhizosphere is the most active part for this kind of transformation. Phosphatase can be produced by plant roots and play an important role in the availability of organic phosphorus. To explore the possibility of using bio-diversity in the plant P nutrition, the factors that affect root endogenous phosphatase and its exudation in the rhizosphere of sugar beet (*Beta vulgaris* L.) were studied under sterile condition by liquid culture. The acid, neutral and alkaline phosphatase could present simultaneously in the roots and rhizosphere. With the increase of seedling age from 10 d to 20 d, the changes in activities of all kinds of phosphatases in roots or in the rhizosphere for three cultivars showed a great difference, then decreased significantly after the seedling age of 20 d. The pH of growing substrate could regulate the exudation of all kinds of phosphatases in the young sugar beet roots, as compared with alkaline phosphatase, the acid and neutral phosphatase were more sensitive to pH. The optimum pH for the exudation of all the three kinds of phosphatase was at the range of pH 6 - 7. The reaction of all kinds of endogenous phosphatase or that in the rhizosphere showed a significant bio-diversity to the pH condition.

**Key words:** Sugar beet; Rhizosphere; Phosphatase; Seedling age; pH

土壤溶液中的营养元素主要通过质流和扩散两种途径运输到植物根表, 并不地被植株吸收利用。磷在土壤溶液中的主要有效形态为  $H_2PO_4^-$  和  $HPO_4^{2-}$ , 由于其特殊的化学特性, 在土壤中移动性差, 极易被固定, 植物对其吸收主要是以扩散的形式运移到根表<sup>[1]</sup>。土壤中的有机磷可溶性低、与固相结合牢固、物化稳定性高、含量丰富<sup>[2]</sup>, 是土壤磷的主要库存。农业土壤中的有机磷通常占全磷量的 30% ~ 80%<sup>[3]</sup>, 其形态的转化<sup>[4]</sup>以及被植物吸收耗

竭<sup>[5]</sup>等物化反应最强烈的部位均在根际, 这一区域磷素营养的状况和转化规律是作物吸收磷素营养的决定因素。在我国北方甜菜产区, 土壤有机质含量在 3% 左右<sup>[6~8]</sup>, 有机磷资源充足, 提高土壤固有有机磷的利用效率, 是开发土壤磷资源的关键。和其他作物一样, 甜菜同样能向根际分泌较多的磷酸酶<sup>[9]</sup>, 部分地分解、吸收和利用外源有机磷<sup>[10]</sup>, 根据甜菜自身的生长状况和遗传特性, 创造一个良好的根际磷酸酶的产生和分泌条件, 是甜菜吸收利用土

\*基金项目: 国家自然科学基金(30270850)、国家人事部、黑龙江省自然科学基金项目(C00-06)。

作者简介: 周建朝(1959 - ), 男, 辽宁省大连市人, 研究员, 博士生导师, 主要从事甜菜营养与生理的研究。

Received(收稿日期): 2003-10-24, Accepted(接受日期): 2004-05-29.

壤有机磷的基础。因此,本文主要对苗龄、根系生长介质中的酸碱反应等与甜菜根际磷酸酶分泌关系较大的因子进行研究,比较不同基因型甜菜之间的差别,探讨利用甜菜生物学多样性的可能,以期充分开发利用土壤有机磷,提高磷的利用效率,减少化学磷肥的投入,制定合理的磷肥管理制度提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 苗龄效应试验

1.1.1 催芽 将过1 mm筛孔的沙子在260℃以上烘箱中处理3~4 h杀菌,装入育苗用的甜菜纸筒,在每筒中播2粒经表面杀菌处理种子。选用3个种质材料,分别为德国KWS (Kleinwanzlebener Saatzucht AG) 育种公司的二倍体“9522”、荷兰Advanta 育种公司的三倍体“巴士森”和中国农业科学院甜菜研究所的四倍体“4n018”。于无菌培养室中在昼14 h,光照强度 $100 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,温度25℃,夜20℃条件下育苗,出苗至子叶平展待用。

1.1.2 植株的生物培养 每个品种用30个50 mL的试管,每个试管中加入30 mL的 $100 \mu\text{mol P/L}$ 的Hbagland 营养液,同时悬置一适当大小的不锈钢网于每个试管中,使其 $2/3$ 高度浸入营养液中,再用耐高温塑料薄膜封好口,灭菌备用。在超净台上将上述3个品种经沙培育出的苗分别用70%的酒精浸泡10 s,取出用无菌水冲洗3次后移入上述试管中,每个品种中有10个试管为2株/管,20个试管为4株/管,于昼14 h,光强 $200 \mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,温度25℃,夜20℃条件下进行生物培养。培养期间每天向各试管中加1滴3%的双氧水,每10 d更换1次无菌营养液。

#### 1.1.3 营养液和根系内源磷酸酶活性的测定

在培养至第10、20、30天时,分别测其营养液及根系内源磷酸酶的活性。根系样品的采集以胚轴与茎基部的结合处为界点。各种磷酸酶活性的测定采用改进的PNP(对硝基苯酚)比色法<sup>[12]</sup>。

### 1.2 pH值效应试验

1.2.1 幼苗的准备 按1.1叙述的方法和条件用“9522”和“4n018”种子进行幼苗培养。

1.2.2 不同pH值条件下磷酸酶活性的测定 培养30 d后,将各试管中的营养液倾出,按每10个试管为一组,分别加入无菌的pH值为4、5、6、7的缓冲液30 mL,在无菌培养室中继续培养3 d后,分别测定营养液和根系内源磷酸酶的活性。

### 1.3 数据统计方法

实验数据的方差分析按单因子随机区组法进行,多重比较采用LSD法<sup>[13]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 苗龄对甜菜根系磷酸酶活性的影响

#### 2.1.1 苗龄对甜菜根系内源磷酸酶活性的影响

从3个基因型品种根系内源磷酸酶活性的平均值可知,苗龄对3种内源磷酸酶活性的影响比较显著且趋势一致,即在苗龄20 d以前,随着苗龄的增加而增加,其中酸性和碱性磷酸酶分别增加了3.809和0.393  $\text{mg PNP} \cdot \text{g}^{-1} \text{root FW} \cdot \text{h}^{-1}$ ,达到显著水平;苗龄20 d以后,酸性、中性和碱性磷酸酶的活性都显著下降,分别降低了8.341、2.649和0.616  $\text{mg PNP} \cdot \text{g}^{-1} \text{root FW} \cdot \text{h}^{-1}$ 。无论在哪个苗龄期,甜菜根系内源磷酸酶的活性均以酸性磷酸酶为主,中性磷酸酶为辅,碱性磷酸酶的活性最低,仅为前2种的 $1/5 \sim 1/10$ ,3种内源磷酸酶间的活性差异均达到显著水平。

各品种甜菜3个苗龄期的平均根系内源磷酸酶活性表明,不同品种间差异明显,其中酸性和碱性磷酸酶的变化趋势一致,“4n018”的活性最高,分别达20.189和2.358  $\text{mg PNP} \cdot \text{g}^{-1} \text{root FW} \cdot \text{h}^{-1}$ ,”9522”显著较低,而“巴士森”又显著低于“9522”,分别为15.138和0.918  $\text{mg PNP} \cdot \text{g}^{-1} \text{root FW} \cdot \text{h}^{-1}$ 。对中性磷酸酶,“4n018”和“9522”的活性接近,分别为14.994和15.657  $\text{mg PNP} \cdot \text{g}^{-1} \text{root FW} \cdot \text{h}^{-1}$ ,比“巴士森”高1倍以上。

不同品种在各苗龄期的根内源磷酸酶的活性变化不一,“4n018”的碱性磷酸酶以苗龄20 d最高,30 d最低;中性磷酸酶在前20 d变化不大,到30 d时有较明显的降低;酸性磷酸酶因不同苗龄而起伏比较大,10 d至20 d活性显著增加,30 d又显著降低(图1-A)。“9522”的3种内源磷酸酶活性变化趋势极其相似,在苗龄30 d前酶活性均随着苗龄的增长而明显下降(图1-B)。与前两个品种不同,“巴士森”的碱性磷酸酶随苗龄的增加而增加,中性磷酸酶从幼苗生长到20 d其活性就不再增加,而酸性磷酸酶的活性变化和“4n018”类似,即20 d最高,以后又明显降低(图1-C)。

2.1.2 苗龄对甜菜根际磷酸酶活性的影响 不同品种甜菜的根系在3个苗龄期向根际分泌磷酸酶的平均结果表明,其分泌特性相似,向根际分泌的酸性磷酸酶活性均比其他2种磷酸酶高1倍多,差异达极显著水平;而中性磷酸酶活性最低,但与碱性磷

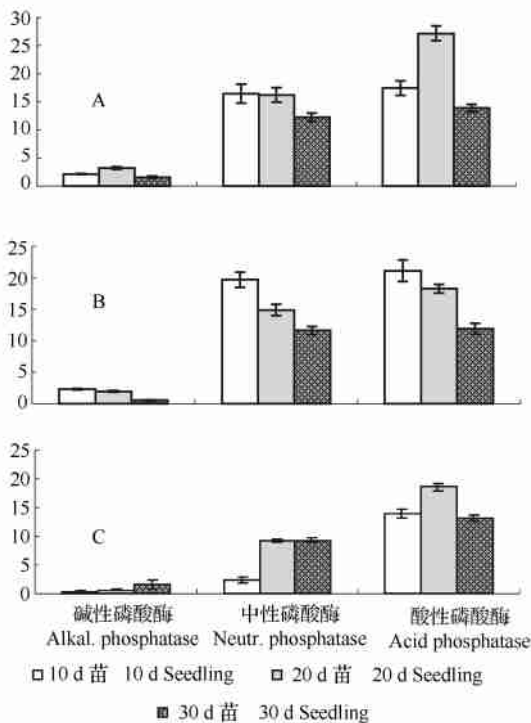


图1 苗龄对甜菜根内源磷酸酶活性的影响  
Fig.1 The effect of seedling age on the activity of endogenous phosphatases in the root of sugar beet

A: 4n018; B: 9522; C: 巴士森 Bastion.

酸酶比,除“巴士森”达显著水平外,另两品种相差不大。3个品种相比,无论酸性、中性还是碱性磷酸酶,均以“9522”的活性最高,分别达1.350、0.549和0.569 mg PNP · g<sup>-1</sup> root FW · h<sup>-1</sup>,与其他两个品种之间差异达极显著水平;其次是“4n018”,其中性和碱性磷酸酶活性均显著高于“巴士森”,分别达0.198和0.241 mg PNP · g<sup>-1</sup> root FW · h<sup>-1</sup>,但酸性磷酸酶活性则差异不大。

苗龄对甜菜向根际分泌磷酸酶特性有较大影响。首先,酸性、中性和碱性磷酸酶活性总合随苗龄增长而显著降低,20 d和30 d分别比10 d降低了21.5%和71.3%;其次,苗龄不同根际各种磷酸酶的分泌特性也不同,酸性磷酸酶活性随苗龄增长显著下降,20 d和30 d分别降到10 d的60.8%和22.3%,中性和碱性磷酸酶的变化基本一致,前20 d变化不明显,到30 d时分别下降了62.1%和64.6%,且达极显著水平。

品种不同,在不同苗龄期的根系分泌磷酸酶的特点同样有较大差异。“4n018”(图2-A)在10~30 d间,根系向根际营养液中分泌的各种磷酸酶活性均表现出一致的变化趋势,在苗龄20 d时其活性均最高,与10 d和30 d的差异均达极显著水平。“9522”

(图2-B)的根际酸性磷酸酶活性随苗龄增加而极显著下降,中性和碱性磷酸酶的变化趋势相似,苗龄10 d和20 d时2种酶的活性均处于较高水平,30 d时大幅下降,并达到极显著水平。“巴士森”的根际酸性和碱性磷酸酶均随苗龄的增长而显著降低,中性磷酸酶在20 d时最低,而在10 d和30 d两个苗龄期相差不大(图2-C)。

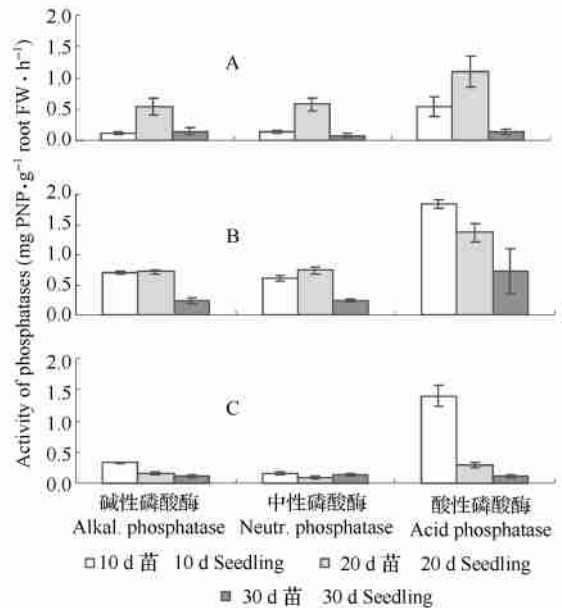


图2 苗龄对甜菜根际磷酸酶活性的影响  
Fig.2 The effect of seedling age on the activity of phosphatase in the rhizosphere of sugar beet

A: 4n018; B: 9522; C: 巴士森 Bastion.

## 2.2 营养环境中的酸碱反应对甜菜根际磷酸酶分泌特性的影响

### 2.2.1 对根系内源磷酸酶的效应

由2个品种的平均值(表1)可以看出,甜菜根际酸碱度的变化对根的3种内源磷酸酶的活性均有不同程度的影响。酸性磷酸酶在pH 6时达到最高活性,与pH 4和pH 7比差异达显著水平;中性磷酸酶活性在pH 5时最高,比pH 4时明显增加;碱性磷酸酶活性总体都比较低,但不同pH处理间也有一定的差异,其中pH 6和pH 7处理较高。

根际酸碱反应对不同的甜菜品种根内源磷酸酶活性的影响因磷酸酶的种类而异(表1)。“4n018”的酸性磷酸酶活性在pH 5~6时较高,但4个处理间差异不显著。“9522”的酸性磷酸酶活性在pH 6时最高,与pH 4、pH 5和pH 7三个处理间差异达到显著水平。对中性磷酸酶活性,“4n018”在pH 5时与其他3个处理比,活性显著增加,但其他3个pH处理间差异不大;“9522”在pH 6时最高,与pH 4时的

差异达显著水平,但与其他两个处理间差异不显著。“4n018”的碱性磷酸酶活性在 pH 6~7 时较高,与

pH 5 时的差异显著,“9522”的内源碱性磷酸酶活性对环境 pH 值的变化不敏感,各处理间差异很小。

表 1 不同 pH 条件下两个甜菜品种内源磷酸酶活性

Table 1 The effect of pH on the activities of endogenous phosphatases in sugar beet root

pH	品种 Cultivar	酸性磷酸酶 Acid phosphatase	中性磷酸酶 Neutral phosphatase	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	合计 Total
4	4n018	10.677 ±0.891	4.724 ±0.934	0.865 ±0.101	16.266
	9522	13.002 ±0.507	7.709 ±0.524	3.063 ±0.119	23.774
	平均 Mean	11.840 ±0.630	6.217 ±0.713	1.964 ±0.354	—
5	4n018	12.036 ±1.045	8.152 ±0.940	0.738 ±0.126	20.926
	9522	14.047 ±1.281	8.733 ±1.141	3.123 ±0.210	25.903
	平均 Mean	13.042 ±0.716	8.443 ±0.697	1.931 ±0.392	—
6	4n018	12.321 ±1.253	4.708 ±1.027	1.150 ±0.151	18.179
	9522	16.974 ±1.480	9.964 ±0.751	3.104 ±0.227	30.042
	平均 Mean	14.648 ±1.024	7.336 ±0.937	2.127 ±0.273	—
7	4n018	11.173 ±0.701	4.708 ±0.306	1.150 ±0.117	17.031
	9522	13.224 ±1.883	9.099 ±1.308	3.056 ±0.209	25.379
	平均 Mean	12.199 ±0.971	6.904 ±0.903	2.103 ±0.319	—

注:酶活性:mg PNP · g<sup>-1</sup>root FW h<sup>-1</sup>(每克鲜根每小时催化分解对硝基苯磷酸盐生成的毫克对硝基酚)。

Notes:Activity of phosphatase: mg PNP · g<sup>-1</sup>root FW h<sup>-1</sup>(The amount of mg *p*-nitrophenol hydrolyzed from *p*-nitrophenyl phosphate per g fresh root per hour).

2.2.2 对根际磷酸酶的效应 从表 2 可见,甜菜生长环境中 pH 值发生变化时,向根际分泌各种磷酸酶的活性将受到明显影响,营养环境处于酸性条件下(pH 4~5),根际酸性和中性磷酸酶的活性仅为 pH 值 6~7 时的 1/2~1/3 左右,碱性磷酸酶活性为 pH 值 6~7 时的 60%~80%,且差异均在 5%以上显

著水平。比较表 1 和表 2,3 种内源磷酸酶在各 pH 条件下的平均活性差异最大的只有 36%(表 1 的中性磷酸酶),但在根际的酸性磷酸酶最大相差 1.95 倍,中性磷酸酶最大相差 2.49 倍,碱性磷酸酶最大相差只有 0.52 倍,说明酸性条件对根系酸性和中性磷酸酶分泌的抑制作用大于碱性磷酸酶。

表 2 营养液中酸碱度对两个品种根际磷酸酶活性的效应

Table 2 The effect of pH on the activities of phosphatases in the rhizosphere of sugar beet

pH	品种 Cultivar	酸性磷酸酶 Acid phosphatase	中性磷酸酶 Neutral phosphatase	碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	合计 Total
4	4n018	0.421 ±0.055	0.053 ±0.021	0.431 ±0.035	0.905
	9522	0.494 ±0.039	0.383 ±0.042	0.693 ±0.072	1.570
	平均 Mean	0.458 ±0.037	0.218 ±0.058	0.562 ±0.054	—
5	4n018	0.098 ±0.017	0.011 ±0.008	0.274 ±0.027	0.383
	9522	0.728 ±0.047	0.592 ±0.078	0.733 ±0.064	2.053
	平均 Mean	0.413 ±0.105	0.302 ±0.099	0.504 ±0.080	—
6	4n018	1.275 ±0.121	0.874 ±0.169	0.671 ±0.060	2.820
	9522	1.158 ±0.495	0.648 ±0.217	0.735 ±0.124	2.541
	平均 Mean	1.217 ±0.195	0.761 ±0.131	0.703 ±0.058	—
7	4n018	1.038 ±0.119	0.491 ±0.058	0.559 ±0.063	2.088
	9522	1.210 ±0.187	0.748 ±0.117	0.974 ±0.179	2.932
	平均 Mean	1.124 ±0.101	0.620 ±0.069	0.767 ±0.101	—

注:酶活性:mg PNP · g<sup>-1</sup>root FW h<sup>-1</sup>(每克鲜根每小时催化分解对硝基苯磷酸盐生成的毫克对硝基酚)。

Notes:Activity of phosphatase: mg PNP · g<sup>-1</sup>root FW h<sup>-1</sup>(The amount of mg *p*-nitrophenol hydrolyzed from *p*-nitrophenyl phosphate per g fresh root per hour).

甜菜向根际分泌磷酸酶的活性受根际 pH 值的影响程度因品种而异,其中酸性磷酸酶在 pH 6~7 时,2 个品种都显著高于在酸性条件下,但品种间差异不大,而在 pH 5 时“9522”极显著地高于“4n018”(表 2)。中性磷酸酶活性在不同品种间差异较大,“4n018”在 pH 6 时显著高于 pH 7 时,而在 2 个酸性条件下该品种分泌中性磷酸酶的能力非常低,仅为前两者的 1.3%~12.6%;“9522”在 pH 7 时最高,但只有降到 pH 4 时才达到差异显著;2 个品种间比

较,在 pH 4、5、7 时“9522”的中性磷酸酶活性显著高于“4n018”(表 2)。和中性磷酸酶一样,“4n018”的碱性磷酸酶活性在 pH 6 时最高,pH 7 时次之,但两者与酸性条件下的 2 个处理间差异显著或极显著;“9522”在 pH 7 时最高,与 pH 4 时的差异达显著水平,但其他 3 个处理间差异均不显著(表 2)。

### 3 讨论

采用液体培养法进行的上述 2 个试验表明,参

试的3个甜菜品种在试验条件下的不同生长时期和不同生长环境下,均能向营养液中分泌酸性、中性和碱性磷酸酶,这与作者在以往研究中采用土培法所得到的结果<sup>[9,10]</sup>一致。前人的研究已经证明,植物根际微生物和根系活性的增加都可使根际包括磷酸酶在内的许多酶的活性增加<sup>[14]</sup>,植物的根也可对能产生磷酸酶的微生物产生特殊的刺激作用,使其分泌磷酸酶<sup>[15]</sup>,因而,在根际磷酸酶的研究中,很易将根系的作用扩大。本试验从幼苗培养到酶活性的测定都是在无菌条件下进行的,根际微生物的干扰已经得到严格控制,可以肯定试验所获得各种有关磷酸酶的分泌特性均为甜菜自身生理代谢表现。

甜菜根系3种内源磷酸酶的活性之和在苗龄20 d后明显下降,但不同品种间苗龄的效应各异,与3n的“巴士森”和4n的“4n018”不同,2n的“9522”下降较早,在苗龄10 d后3种内源磷酸酶就开始下降。苗龄的这种效应可能主要是各种磷酸酶在甜菜体内的合成速度与生物稀释效应的矛盾以及品种之间这一矛盾的差异所致。同一物种的不同基因型间内源磷酸酶的活性差异,在Römer用9个小麦和23个大麦品种进行的研究中也得到了很好的证明<sup>[16]</sup>,说明植物体的内源磷酸酶及其分泌能力是一个有效的遗传性状。

甜菜根系内源磷酸酶是其向根际分泌的潜在源库,当自身和环境条件适宜时即可有效地向根际分泌,经统计分析表明,在品种和苗龄相同的条件下,两者呈极显著直线正相关( $r=0.506$ ,  $n=27$ ),因而苗龄对根际磷酸酶分泌的影响除酸性磷酸酶降低较

早外,与内源磷酸酶的变化规律基本相同。但对不同基因型的甜菜,向根际分泌磷酸酶的能力存在明显的染色体倍性差异,其中2n的“9522”向根际分泌酸性、中性和碱性磷酸酶的活性占各自内源磷酸酶的比例为7.7%、3.5%和34.1%,分别是4n的“4n018”和3n“巴士森”的2.1~3.0、1.9~2.7和1.6~3.3倍,说明2n甜菜根际磷酸酶的分泌能力高于3n和4n。甜菜随着染色体倍数水平的增加,根的细胞体积增大、干物质含量降低<sup>[17]</sup>,高妙真等对不同倍性甜菜的生物学特性进行研究时也证明了2n甜菜的发叶速度大于4n甜菜<sup>[18]</sup>,说明2n甜菜细胞分裂速度快,单位重量的根组织含的细胞数多,细胞的总表面积大,胞间和胞壁的道南(Donnan)自由空间(DFS)大,因此,向根际分泌磷酸酶的能力显著高于3n和4n甜菜。

甜菜根系内源磷酸酶的活性均以酸性磷酸酶为主,中性磷酸酶为辅,碱性磷酸酶的活性仅为前2种的1/5~1/10。从分泌到根际营养液中3种磷酸酶所占根系内源各磷酸酶的比例可见(表3),酸性和中性磷酸酶分泌到根际的比例很小,分别只有4.6%和2.4%,而碱性磷酸酶的分泌能力则分别比前两者增加了3.5~7.7倍,说明甜菜根内的碱性磷酸酶虽然绝对含量低于其他两种酶,但向根际分泌的相对能力最强,这一方面可能是由于甜菜自身的根细胞膜对碱性磷酸酶的透性较大,另一方面,本试验采用的营养液为pH 6.0,而碱性磷酸酶所含的离子化的侧链基团的阴离子可能较其他2种酶多,因而更易分泌。

表3 甜菜3个苗龄期平均根内、外不同磷酸酶活性的比较

Table 3 The comparison of phosphatase activity between root endogenous and rhizosphere of sugar beet (average of three seedling age stages)

磷酸酶种类 Sort of phosphatase	内源磷酸酶活性 Endogenous phosphatase activity (mg PNP · g <sup>-1</sup> root FW · h <sup>-1</sup> )		根际磷酸酶活性 Phosphatase activity of rhizosphere (mg PNP · g <sup>-1</sup> root FW · h <sup>-1</sup> )	
	绝对值 Absolute value	相对值 Relative value (%)	绝对值 Absolute value	相对值 Relative value (%)
	酸性磷酸酶 Acid phosphatase	17.387	100	0.804
中性磷酸酶 Neutral phosphatase	12.246	100	0.288	2.4
碱性磷酸酶 Alkaline phosphatase	1.588	100	0.332	20.9

苗期是甜菜磷素营养代谢最旺盛的时期,在7~35 d苗龄期,较高的磷营养即可使根的中柱初生形成层、皮层及皮层薄壁组织细胞具有较强的分裂增长强度和较发达的根系,进而直接影响中后期的生长发育<sup>[19]</sup>。甜菜的各种磷酸酶在幼苗期就表现出较大的基因型差异,选用苗期各种内源磷酸酶活性高,且向根际分泌能力强的品种不仅可以保证甜菜

的磷素营养,而且还可减少磷肥投入。甜菜根际磷酸酶的产生和分泌是一个数量遗传性状,在甜菜上进行高效型磷素营养定向育种时,可根据苗期磷酸酶的活性高、生物多样性明显的特点进行快速性状选择,以简化和加快育种的进程。

与内源磷酸酶相比,甜菜生长环境中pH值对根系向根际分泌各种磷酸酶的影响更显著,营养环

境处于酸性时 (pH 4~5), 根际 3 种磷酸酶的活性均仅为 pH 6~7 时的 1/2~1/3。据各种作物对酸性磷酸酶分泌最适 pH 的研究, 黑麦为 5.0~6.0<sup>[20]</sup>、芸豆为 4.5~5.0<sup>[21]</sup>、大豆为 5.0<sup>[22]</sup>、荞麦为 4.5~5.0<sup>[20]</sup>。在磷酸酶的种类方面, Tarafdar<sup>[12]</sup> 的研究证明, 三叶草根分泌物中没有碱性磷酸酶, Chhonkar<sup>[23]</sup> 在绿豆、小麦、芥末和三叶草上的进一步研究表明, 碱性磷酸酶只能由微生物产生, 而酸性磷酸酶是由土壤微生物和植物共同产生, 至于中性磷酸酶, 在其他作物上未见报道。相比之下, 甜菜不仅分泌的磷酸酶种类多, 而且分泌的最适 pH 值范围明显高。由于甜菜最适宜的土壤 pH 值为中性偏碱, 我国甜菜主要种植在 pH 7 左右的土壤上, 较高的磷酸酶分泌的最佳 pH 值对甜菜生产更有实际意义。

甜菜向根际分泌磷酸酶的活性受根际 pH 值的影响程度因品种而异, 与“4n018”比, “9522”除酸性磷酸酶外, 在 pH 5~7 之间对磷酸酶的分泌影响差异不显著, 说明它对生长介质中的酸碱反应适应能力较强。纵观各 pH 条件下分泌到根际的各种磷酸酶活性, “9522”的分泌能力明显高于“4n018”。本试验参试的品种只有 2 个, 如果选择更多基因型的甜菜进行研究, 品种间的这一生物多样性特点可能会更加突出。

和无机磷一样, 土壤中的有机磷通常被强烈地吸附在土壤颗粒上, 在土壤溶液中的移动性非常小<sup>[24]</sup>, 有机磷只有被根系截获或通过土壤液相迁移到根表或根际, 才能被磷酸酶分解并最终被吸收利用。因此, 土壤中的其他任何影响有机磷解吸及迁移的因子都可能同时对其产生影响。甜菜根际磷酸酶活性高低, 是其对土壤有机磷具有较高吸收利用能力的物质基础, 要提高甜菜根际磷酸酶的分泌能力和活性, 增加对土壤有机磷的分解、吸收和利用能力, 除了在实践中选择遗传性状稳定, 根际磷酸酶分泌能力强的品种外, 创造一个良好的营养生长和根际磷酸酶分泌的环境, 也是充分利用土壤现有磷素资源, 减少磷肥投入的必要措施。

## References

- [1] Oliver S, Barber S A. An evaluation of the mechanisms governing the supply of Ca, Mg, K and Na to soybean roots. *Soil Sci Soc Amer Proc*, 1966, **30**: 82 - 86
- [2] Anderson G. Assessing organic phosphorus in soils. In: Khasawneh F E, Sample E C, Kamprath E J eds. *The Role of Phosphorus in Agriculture*. Madison, Wis: Amer Soc Agron, 1980. 411 - 431
- [3] Dalal R C. Organic phosphorus. *Adv Agron*, 1978, **29**: 83 - 117
- [4] Helal M H, Sauerbeck D R. Influence of plant roots on C and P metabolism in soil. *Plant and Soil*, 1984, **76**: 175 - 182
- [5] Tarafdar J C, Jungk A. Phosphatase activity in the rhizosphere and its relation to the depletion of soil organic phosphorus. *Biol Fertil Soil*, 1987, **3**: 199 - 204
- [6] Zhou J-C (周建朝). Superficial talk about the proper fertilization on sugar beet. *China Sugar Beet (中国甜菜)*, 1988, **3**: 46 - 50 (in Chinese)
- [7] Zhou J-C (周建朝), Liu Y (刘晔), Liu F-Q (刘凤琪), Ceng G (耿贵). The relationship between soil nutrition and root yield, quality of sugar beet. *Chinese Journal of Soil Science (土壤通报)* 1990, **21**(1): 35 - 37 (in Chinese)
- [8] Wu Y-M (吴玉梅), Cai B (蔡葆), Sun L-Y (孙丽颖), Yu H-B (于海彬). Effect on sugar beet quality with different formation rate of N, P, K. In: *Proceedings of 1<sup>st</sup> International Sugar Beet Colloquium of China (第一届中国甜菜国际讨论会论文集)*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1997. 214 - 218 (in Chinese with English abstract)
- [9] Zhou J-C (周建朝), Han X-R (韩晓日). The properties of phosphatase excretion in rhizosphere of sugar beet. *Sugar Crops of China (中国糖料)*, 2003, **3**: 6 - 11 (in Chinese with English abstract)
- [10] Zhou J-C (周建朝), Pan S-Y (潘绍英), Roemer W, Beissner L. A study on the absorbing capacity of phytin and the effects of phytase in sugar beet. *Sugar Crops of China (中国糖料)*, 1997, **3**: 8 - 12 (in Chinese)
- [11] Findenegg G R, Nelemans J A. The effect of phytase on the availability of P from myo-inositol hexaphosphate (phytate) for maize roots. *Plant and Soil*, 1993, **154**: 189 - 196
- [12] Tarafdar J C, Claassen N. Organic phosphorus compounds as a phosphorus source for higher plants through the activity of phosphatases produced by plant roots and microorganisms. *Biology and Fertility of Soils*, 1988, **5**: 308 - 312
- [13] Gai J-Y (盖钧镒). *The Method of Experimentation (试验统计方法)*. Beijing: China Agriculture Press, 2000. 99 - 125 (in Chinese)
- [14] Tarafdar J C, Chhonkar P K. Status of phosphatase in the root - soil interface of leguminous and non-leguminous crops. *Z Pflanzenernaehr Bodenkd*, 1978, **141**: 347 - 351
- [15] Greaves M P, Webley D M. A study of the breakdown of organic phosphate by microorganisms from the root region of certain pasture grasses. *J Appl Bacteriol*, 1965, **28**: 454 - 465
- [16] Römer W, Beissner L, Schenk H, Jungk A. Einfluss von Sorte und Phosphordüngung auf den Phosphorgehalt und Aktivität der sauren Phosphatasen von Weizen und Gerste. - Ein Beitrag zur Diagnose der P-Versorgung von Pflanzen. *Z Pflanzenernaehr Bodenkd*, 1995, **158**: 3 - 8
- [17] Qu W-Z (曲文章). *Sugar Beet Physiology (甜菜生理学)*. Harbin: Heilongjiang Science and Technology Press, 1990. 42 - 49 (in Chinese)
- [18] Gao M-Z (高妙真), Zhao J-Y (赵景义), Xu B-R (徐宝荣), Miao W (眭魏), Cui J (崔杰). A study on biological characters of diploid and tetraploid sugarbeet. *China Beet & Sugar (中国甜菜糖业)*, 1997, (1): 8 - 12 (in Chinese)
- [19] Shao J-W (邵金旺), Cai B (蔡葆), Zhang J-H (张家骅). *Sugar Beet Physiology (甜菜生理学)*. Beijing: Agriculture Press, 1991. 187 - 220 (in Chinese)
- [20] Melachlan K D. Acid phosphatase activity of intact roots and phosphorus nutrition in plants. - Assay conditions and phosphatase activity. *Aust J Agric Res*, 1980, **31**: 429 - 440
- [21] Helal M H. Varietal differences in root phosphatase activity as related to the utilization of organic phosphates. *Plant and Soil*, 1990, **123**: 161 - 163
- [22] Juna N G, Tabatabai M A. Comparison of kinetic and thermodynamic parameters of phosphomonoesterases of soils and of corn and soybean roots. *Soil Biol Biochem*, 1988, **20**: 533 - 539
- [23] Chhonkar P K, Tarafdar J C. Characteristics and location of phosphatase in soil-plant system. *J Indian Soc Soil Sci*, 1981, **29**(2): 215 - 219
- [24] Bei ner L, Römer W. Improving the availability of phytate-phosphorus to sugar beet by phytase application to soil. In: Martini-Prevel P, Baier J eds. *Proceedings of 8<sup>th</sup> International Colloquium for the Optimization of Plant Nutrition*. Prague: Czech University of Agriculture, 1996. 327 - 332