

硅酸盐水泥含量对种基盘特性的影响

赵佳愉, 伍红燕, 史蔚林, 宋桂龙

(北京林业大学 草业与草原学院, 北京 100083)

摘要:种基盘是一种四周有一定硬度的圆柱状空心植物育苗装置。以普通硅酸盐水泥作为基质粘结材料, 设置 7 个浓度(0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12%, W/W), 研究种基盘的抗压强度、保水特性及根系扩展特性。结果表明: 低含水率时, 水泥含量越高, 基盘抗压强度越高, 10% 和 12% 水泥含量显著高于对照。随着水泥含量的增加, 水泥基质配方的饱和含水量呈降低的趋势, 蒸发失水比呈升高的趋势。水泥含量在 10%、12% 时, 种基盘外壁强度大, 中心孔内的根系长度比例高于孔外根系的长度比例, 其他处理下, 孔外的根系长度比例均高于孔内; 随着水泥含量的增加, 种基盘中心孔内及孔外根系总长度逐渐降低, 总根中不同径级的根系长占总根长的比例为细根远大于中根及粗根。综合硅酸盐水泥处理下种基盘的抗压强度、保水特性及根系扩展特性, 水泥含量为 2% 时效果最好。

关键词:种基盘; 硅酸盐水泥; 抗压强度; 保水性; 根系扩展性

中图分类号: S723.134 **文献标志码:** A **文章编号:** 1009-5500(2021)02-0034-06

DOI: 10.13817/j.cnki.cyyep.2021.02.005

植被生长和构建过程中, 苗木初期的生长质量是决定造林后苗木成活率和生长的最重要因素, 而根系的扩展特性是评价苗木质量的一个重要指标^[1-4]。采用经过改良的固体块状土壤为植物生长的基质, 在块状固体土壤的中心留下播种孔, 作为种子的生育基础, 然后将其埋于土中, 再进行覆土和播种, 这种块状固体土壤称为种基盘(seed-base), 这种技术称为种基盘绿化技术(seed-base technology)^[5]。该技术是边坡苗木栽植的常用方法, 是一项加速植被恢复进程的重要措施^[6-7], 主要用于解决传统容器苗存在的盘根、移栽后适应性差、根系扩展受阻等问题, 可大大提高苗木的成活率, 抗逆性。其最大的优势在于无造林季节的限制, 尤其适合于立地条件差及自然条件恶劣的高陡边坡^[8-11]。

当种子发芽后由于四周土壁硬度较高, 植物须根侧向伸展受到种基盘的束缚, 而主根生长受到促进, 并

在重力作用下向下方延伸, 形成了主根粗壮且须根少的效果^[12]。将已经育好的种基盘移栽至边坡, 一周左右主根就可扎进边坡土壤或岩石裂隙, 须根也能迅速向内生长并在土壤层中形成网络状^[13]。

我国的种基盘绿化技术研究开始于 21 世纪初。对北京土石山区和河北滨海盐碱地的基盘法造林技术进行的研究, 表明种基盘具有一定阻隔盐碱的作用^[14]。在太行山南麓 3 种不同的立地条件下, 采用种基盘造林方法, 对 8 个拟选造林树种进行了出苗试验研究, 结果表明: 臭椿、胡枝子、金合欢 80℃ 温水处理适应性较强^[15]。通过添加土壤活性改良剂, 有效地提高了种基盘基质的透水性和吸水速率, 降低了其表面蒸发量, 并促进了植物的地上部生长^[1]。在基盘配方中增加海藻复混肥, 种基盘造林成活率会随之降低; 粘合剂用量的多少对种基盘造林的成活率影响不显著^[16]。对种基盘育苗和营养钵育苗的方法进行对比, 发现种基盘能有效促进树木的主根沿着重力方向生长, 使主根通直且发达, 而侧根粗壮且分布较均匀, 而营养钵苗的主根不明显, 须根系盘绕现象严重^[17], 在水分胁迫条件下, 种基盘育苗比营养钵育苗更能促进苗木的生长^[18]。

相比于传统的苗木移栽和营养钵移栽方法, 种基

收稿日期: 2020-05-14; **修回日期:** 2020-07-03

基金项目: 国家重点研发计划(2019YFF0303202-01)

作者简介: 赵佳愉(1996-), 男, 河北张家口人, 硕士研究生。

E-mail: 1046554920@qq.com

宋桂龙为通讯作者。E-mail: syihan@163.com

盘外壁通过对苗木须根的侧向伸展进行束缚,从而促进主根的向下生长,提高抗旱性及成活率。种基盘的核心技术在于基盘的抗压强度、保水性和根系扩展方面,基质添加物不同,种基盘的特性变化很大,而目前国内对种基盘材料选择及配比对其强度的研究较少。本试验通过对不同水泥添加浓度的种基盘进行抗压强度、保水性及根系扩展情况的研究,分析不同添加浓度下的应用效果,以期对种基盘绿化提供理论及技术支持。

1 材料和方法

1.1 试验材料

种基盘基质材料主要包括土壤、草炭、复合肥、保水剂和普通硅酸盐水泥。先将硅酸盐水泥之外的基质进行混合,土壤和泥炭按 1:1(V/V)混合,加入保水剂、复合肥,保水剂占干土重的 0.2‰(W/W),复合肥

(史丹利公司生产,N-P₂O₅-K₂O 的养分比例为 15-15-15)占干土重的 1‰(W/W),搅拌均匀后,形成基质混合物。

试验选用的土壤土质为壤土,自然风干,过 5 mm 筛,土壤理化性质见表 1。

草炭,能够较好地改良土壤,增加植物根部的透水透气性,作为肥料营养成分的载体,防止养分直接流失。

保水剂(SAP)是人工合成的高分子长链聚合物,主要成分为聚丙烯酸盐和聚丙烯酰胺共聚体,可增加植物对水分的吸收、储存和释放;降低土壤的固结,提高土壤的通风性和土壤活性。

普通硅酸盐水泥(河北燕新建材集团有限公司生产),高标号 42.5 级,是一种胶凝材料,基材中加入水泥能提高土体强度。

试验地点选在北京林业大学八家试验地。

表 1 土壤理化性质

Table 1 Physicochemical characteristics of soil

容重/ (g·cm ⁻³)	饱和含水率/ (g·100g ⁻¹)	孔隙度/%	有机质/ (g·kg ⁻¹)	全 N/ (g·kg ⁻¹)	有效 P/ (mg·kg ⁻¹)	有效 K/ (mg·kg ⁻¹)	pH
1.37	32.40	50.21	29.18	3.97	14.21	227.00	7.15

1.2 试验设计

采用单因子试验设计,按质量比将 6 个浓度硅酸盐水泥分别与基质混合物混合,6 个浓度分别为 2%、4%、6%、8%、10%、12%(W/W),设置未添加水泥(0%)为对照(CK),每个处理 3 个重复。混合均匀后用种基盘成型器压制成型。

使用的种基盘用自制模具制作,基盘规格为 D=10 cm、H=10 cm 的圆柱体,中间有一个孔径为 4 cm 的贯通孔,孔四周有 4 个 2 cm 的通气槽。需先将土、草炭等粉碎成细末,同时清除坚硬杂物,再按照配方添加各种所需试验材料,然后充分搅匀各种材料。所使用的种基盘规格如图 1 所示。

供试植物为紫穗槐,播种前用热水浸种。播种时应先在种基盘的中央孔处加入占其总体积 2/3 的壤土,然后再加入一定量的水,使壤土下沉积实,再加入土进行覆盖,覆盖的土用壤土并加入一定比例的草炭混匀,加至离基盘顶部约 1 cm,播种后用覆盖土把种子盖上,轻轻压实,浇水。出苗后种基盘内每穴只留苗 1 株,注意苗期水分保持和杂草防除。

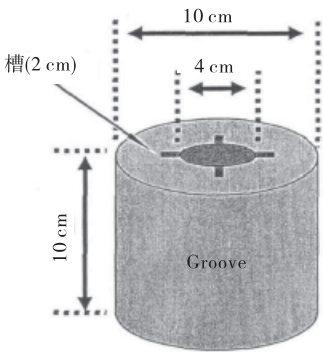


图 1 种基盘

Fig. 1 Diagram of the seed base

1.3 指标与测量方法

1.3.1 抗压强度 采用微机控制电子万能试验机(山东耐测智能设备有限公司生产)。种基盘压制成型后,中心孔内覆土、浇水、压实,在种基盘含水率分别为 15%、20%、25%的条件下测定其抗压强度(KN),记录峰值,即所能承受的最大强度。

1.3.2 保水性 采用称重法。取基盘基质各 150 g,装入 PVC 管,管底部封口后放在盛有水的水槽中,浸润 48 h,待基质表面湿润后,放在水中浸泡 48 h,取出

静置 48 h,测量 PVC 管的重量 W_1 (g)。封闭下部排水孔,置于温室,每天测定 PVC 管重量,记录为 W_2 (g),从而得到各个种基盘基质的日表面蒸发量 W_d (g) = $W_1 - W_2$,求得累计蒸发量 $\sum_{d=1}^n (W_d)$ 和饱和含水量 (W_f),计算出各处理的蒸发失水比 R (%) = $\sum_{d=1}^n (W_d) / W_f$ 。

1.3.3 根系扩展特性 采用根系扫描的方法。待所育苗生长 3 个月后,用镊子和毛刷将根系挖出,每个浓度各取一株,尽量保证根系的完整构型,记录根系的分布情况,带回实验室,清水冲洗干净后带回实验室用根系扫描仪进行根系扫描。

测量种基盘中心孔内和孔外根的长度占总根长的比例及不同径级根系的长度。根系长度的测量采用 Epson Twain Pro(32bit)扫描仪和根系分析应用系统 WinRhIZO,扫描根系时,根据根系的直径(d)进行分级处理,将 $0\text{ mm} < d \leq 2\text{ mm}$ 的根系定义为细根, $2\text{ mm} < d \leq 4\text{ mm}$ 的根系定义为中根, $d > 4\text{ mm}$ 的根系

定义为粗根。

1.4 数据分析

原始数据采用 Excel 2019 整理,SPSS 23.0 软件进行分析,对数据进行单因素方差分析(one-way ANOVA),并利用最小显著差异法(LSD)检验不同数据组间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 抗压强度

相同含水率下,随着水泥含量的升高,种基盘的强度逐渐升高,均高于对照;在不同水泥含量下,随着种基盘含水率的升高,基盘的强度均逐渐降低(表 2)。种基盘含水率为 15%时,基盘抗压强度随着水泥含量的增加而增强,但 2%、4%、6%、8%的处理间基盘强度差异不显著,12%处理基盘强度与其他处理之间差异显著;10%处理与 2%、12%处理之间差异显著,但与其他处理之间差异不显著,且均高于含水率在 20%和 25%时的基盘强度,说明种基盘含水率越低,水泥用量越高,越有利于基盘的稳定。

表 2 不同水泥用量下种基盘的抗压强度

Table 2 Variation in compressive strength of seed base with different contents of cement							MPa
含水率/%	抗压强度						
	0	2%	4%	6%	8%	10%	12%
15	0.49 ^c	0.51 ^c	0.54 ^{bc}	0.58 ^{bc}	0.6 ^{bc}	0.66 ^b	0.93 ^a
20	0.35 ^d	0.4 ^{cd}	0.41 ^{cd}	0.43 ^c	0.44 ^c	0.54 ^b	0.69 ^a
25	0.27 ^c	0.3 ^c	0.33 ^c	0.34 ^c	0.34 ^c	0.46 ^b	0.6 ^a

注:同行小写字母表示差异显著($P < 0.05$),下同

种基盘含水率在 20%的情况下,水泥含量为 2%、4%、6%、8%时,基盘强度无显著差异,水泥含量为 10%和 12%时,基盘强度存在显著差异。种基盘含水率在 25%的情况下,水泥含量为 2%、4%、6%、8%时,基盘强度无显著差异,但与其他水平之间存在显著性差异;水泥含量为 10%和 12%时,基盘强度无显著差异。

2.2 保水特性

水泥基质配方的累计蒸发量和饱和含水率均高于对照(表 3)。随着水泥含量的增加,水泥基质配方的饱和含水率呈降低的趋势,水泥含量为 4%、8%、12%时无显著差异,三者与其他水平之间也无差异;而水泥含量为 2%和 6%时无显著差异,但二者与对照有显著差异。随着水泥含量的升高,蒸发失水比呈升高的趋势,水泥含量在 2%、4%时,蒸发失水比低于对照,但

差异不显著,说明水泥含量在 2%和 4%时对基质蒸发有一定抑制效果。

表 3 种基盘的累计蒸发量、饱和含水量和蒸发失水比

Table 3 Cumulative evaporation,saturated water content and evaporation loss ratio of seed base with different contents of cement

水泥含量/%	累计蒸发量/g	饱和含水量/g	蒸发失水比/%
2	107.67 ^b	121.1 ^a	0.889 2 ^b
4	106.43 ^b	119.4 ^{ab}	0.892 1 ^b
6	111.8 ^a	121.57 ^a	0.920 5 ^{ab}
8	107.83 ^b	117.4 ^{ab}	0.918 5 ^{ab}
10	106.27 ^b	115.1 ^b	0.923 3 ^{ab}
12	110.43 ^a	116.77 ^{ab}	0.946 1 ^a
0	102.87 ^c	114.43 ^b	0.899 0 ^b

注:同列不同小写字母差异显著($P < 0.05$)

2.3 根系扩展特性

水泥含量在 10%、12% 时,种基盘外壁强度大,中心孔内的根系长度比例高于孔外根系的长度比例,其他处理下,孔外的根系长度比例均高于孔内根系的长度比例,说明水泥含量为 2%、4%、6%、8% 时,根系扩展性好(表 4)。

随着水泥含量的增加,种基盘中心孔内、孔外根系总根长度逐渐降低,当水泥含量超过 8% 时,总根长度低于对照,水泥含量为 2%、4%、6% 时的根系总根长度分别比对照高出 38.5%、21.4%、15.7%。水泥含量为 2% 时根系总根长与其他水平之间差异显著,水泥含量为 4%、6% 时,二者间总根长差异不显著,但与其他水平之间差异显著(表 4)。

表 4 根系长度及比例

Table 4 Root length and the percentage of roots in different root diameters to the total root length					
水泥含量/%	孔内		孔外		总根长度/cm
	长度/cm	比例/%	长度/cm	比例/%	
2	505.72	26.33	1 414.85	73.67	1 920.57 ^a
4	514.16	30.55	1 168.62	69.45	1 682.77 ^b
6	710.37	44.29	893.52	55.71	1 603.90 ^b
8	546.07	42.13	750.14	57.87	1 329.55 ^{cd}
10	594.20	50.41	584.56	49.59	1 178.76 ^d
12	698.67	74.22	242.69	25.78	941.36 ^e
0	547.90	39.51	838.72	60.49	1 386.61 ^c

从种基盘中心孔内及孔外两个位置来看,不同径级根系长度占总根长的比例均为细根远大于中根和粗根;不同水泥含量下,不同径级根系长度占总根长的比例为细根远大于中根及粗根。在紫穗槐的地下根系中,细根的长度比例最大,中根和粗根间差异不明显($P<0.05$),在 7 个水泥含量中,细根的长度比例都在九成以上,而中根及粗根总长度所占比不到一成(表 5)。

3 讨论

对于不同水泥添加浓度的种基盘,含水率越低,水泥含量越高,基盘强度越高,越有利于种基盘的稳定。种基盘在 3 个供试含水率,在低水泥含量时(2%、4%、6%、8%),随着水泥含量的升高,基盘强度逐渐升高,基盘越稳定,但其强度之间差异不显著($P<0.05$)。种基盘抗压强度的提升会更好束缚须根的侧向延伸,以保证主根向深处下扎。但是水泥用量过高会导

表 5 不同径级根系长度的比例

Table 5 Percentage of roots in different root diameter to the total root length				
水泥含量/%	根系位置	0 mm<d ≤2 mm	2 mm<d ≤4 mm	d>4 mm
2	孔内	23.27	1.37	1.69
	孔外	73.29	0.38	0
	合计	96.56	1.75	1.69
4	孔内	25.97	2.66	1.92
	孔外	68.02	1.39	0.04
	合计	93.99	4.05	1.96
6	孔内	40.14	2.02	2.13
	孔外	54.82	0.88	0.01
	合计	94.96	2.90	2.14
8	孔内	37.80	1.77	1.50
	孔外	54.90	1	0.52
	合计	92.70	2.77	2.02
10	孔内	46.24	2.27	1.90
	孔外	48.78	0.81	0
	合计	95.02	3.08	1.90
12	孔内	68.06	3.25	2.92
	孔外	25.20	0.58	0
	合计	93.26	3.83	2.92
0	孔内	34.71	2.10	2.71
	孔外	59.79	0.64	0.05
	合计	94.50	2.74	2.76

致种基盘 pH 值增加,不利于植物的生长,因此研发既能保证基质强度又不对植物生长产生过大影响的低碱水泥是目前亟待解决的问题。

饱和含水量反映出基质混合物对水分的容量大小^[19]。随着水泥含量的增加,水泥基质配方的饱和含水率呈降低的趋势,说明水泥含量越低,基质持水效果越好,主要原因是水泥会堵塞土壤孔隙,与水分竞争土壤内部空间。随着水泥含量的升高,蒸发失水比呈升高的趋势,水泥含量在 2%、4% 时,蒸发失水比低于对照,但差异不显著,这说明水泥含量在 2%、4% 时,其对基质蒸发有一定抑制效果。这与云波兰等^[20]在复合海藻肥(SCF)和土壤防腐剂(SED)两种改良剂对种基盘的吸水保水性能研究上的结果一致,低浓度对种基盘水分的蒸发有一定的抑制作用,高浓度效果不明显或效果相反。这可能是由于硅酸盐水泥会在基材表面形成一层保护膜,抑制水分子的向大气扩散。本研究可对降水量稀少的干旱、半干地区的种基盘培育过

程中的水分利用提供一定的理论和技术支持。

通过试验得出,水泥用量为 2%、4%、6%时的根系总根长度分别比对照高出 38.5%、21.4%、15.7%,其余水平下均低于对照。水泥用量为 2%时根系总根长与其他水平之间差异显著($P < 0.05$),水泥用量为 4%、6%时,总根长之间差异不显著($P < 0.05$),细根的长度比例均高于 90%。因此,当水泥用量低于 8%时,水泥系列种基盘有利于植物的生长和根系扩展,主要原因可能是过多水泥的添加会导致基质孔隙度大幅降低,不利于扎根和扩展,所以在工程绿化中要严格控制水泥的用量,使其既能保证一定的强度又不对植物根系生长产生太大负面影响。本研究结果是冯志培等^[21]的种基盘显著提高了侧柏幼苗的根尖数和根系直径研究结果的补充,从不同的方面验证了种基盘对植物根系形态变化的影响。

在种基盘中添加硅酸盐水泥的目的是在有限的条件下保障种基盘的强度,有利于种基盘的育苗、运输和移栽,所以添加硅酸盐水泥后植物生长情况的好坏是对其效应的最直接的评价。当种基盘含水率在 15%时,强度较高,适宜于基盘的运输、移栽。综合水泥的添加对种基盘强度、保水性及根系扩展情况的影响,其适宜用量为 2%左右时效果最好。

4 结论

对于不同水泥浓度的种基盘,含水率越低,水泥含量越高的情况下,基盘强度越高,越有利于种基盘的稳定;随着水泥含量的增加,水泥基质配方的饱和含水量呈降低的趋势,蒸发失水比呈升高的趋势;低水泥含量(2%、4%、6%)下,根系总长度高于对照,有利于根系的扩展,而水泥添加浓度过高则对根系生长不利。

参考文献:

[1] 杨喜田,董娜琳,闫东峰,等.不同培育时间侧柏种基盘苗根系生长和分布[J].生态学报,2011,31(19):5818—5823.

[2] 曲良谱,喻方圆,周思琦.控根对苦楝苗木质量的影响[J].林业科技开发,2013,27(4):89—92.

[3] 李国雷,刘勇,祝燕,等.国外容器苗质量调控技术研究进展[J].林业科学,2012,48(8):135—142.

[4] 袁冬明,林磊,严春风,等.3种造林树种轻基质网袋容器苗造林效果分析[J].东北林业大学学报,2012,40(3):19—23.

[5] 杨喜田,董惠英,山寺喜成,等.播种造林种基盘基质的改良研究[J].中国水土保持科学,2003,1(4):87—91.

[6] 马守臣,徐炳成,李凤民,等.根修剪对黄土旱塬冬小麦(*Triticum aestivum*)根系分布、根系效率及产量形成的影响[J].生态学报,2008,28(12):6172—6179.

[7] 刘建锋,史胜青,江泽平.几种引进柏树的抗旱性评价[J].西北林学院学报,2011,26(1):13—17+60.

[8] 杨喜田,佐铺宣行,杨臻,等.不同育苗方式对移栽后侧柏和白榆幼苗根系生长的影响[J].生态学报,2010,30(1):86—92.

[9] 佐铺宣行.河南省荒山侧柏种基盘苗的生长和根系分布及其移栽时期研究[D].郑州:河南农业大学,2010.

[10] 岳龙,徐迎春,张炜,等.美植袋物理控根容器培育对玉兰苗根系构型的影响[J].林业科学研究,2010,23(6):883—888.

[11] 孙盛,彭祚登,董凤祥,等.Cu,Zn等制剂对银杏容器苗的控根效果[J].林业科学,2009,45(7):156—160.

[12] 山寺喜成,杨喜田,宫崎敏孝.植栽木と播種木との引き抜き抵抗力の相違について[J].日本緑化学会誌,2002,28(1):143—145.

[13] YOSHINARIY. Study on the restoration techniques of vegetation communities with high environmental conservation ability [J]. Nagano Matumoto Sabo Alps Kikou, 2007.

[14] 李国华.河北滨海盐碱地和北京土石山区基盘法造林技术研究[D].北京:北京林业大学,2009.

[15] 武应霞,汪泽军,林春阳.不同树种采用种基盘造林时出苗情况初报[J].河南林业科技,2003(3):3—4.

[16] 李国华,景峰,朱金兆,等.不同种子基盘配方造林的成活率[J].中国水土保持科学,2009,7(4):72—76.

[17] 杨喜田,霍利娜,赵宁,等.种基盘苗与营养钵苗根系生长和形态的差异[J].中国水土保持科学,2009,7(5):48—51+57.

[18] 杨喜田,薛帅征,王向阳,等.侧柏种基盘苗和营养钵苗移栽后根系生长对不同水分亏缺的响应[J].中国水土保持科学,2014,12(2):59—64.

[19] 潘颖,李孝良.几种无土栽培基质理化性质比较[J].安徽农学通报,2007(5):55—56.

[20] 云波兰,张学培,景峰,等.种基盘的基质吸水保水性能研究[J].西北林学院学报,2011,26(5):116—120.

[21] 冯志培,赵佳宝,孔玉华,等.种基盘对侧柏幼苗根系形态和生理特性的影响[J].西北林学院学报,2015,30(3):107—112.

Effects of portland cement concentration on the characteristics of seed base

ZHAO Jia-yu, WU Hong-yan, SHI Wei-lin, SONG Gui-long

(College of Grassland Science, Beijing Forestry University, Beijing 100083, China)

Abstract: The seed base is a cylindrical hollow seedling structure with a certain hardness around it. Ordinary Portland cement was used as the matrix bonding material at six different concentrations (2%, 4%, 6%, 8%, 10%, 12%, w/w) to study the compressive strength, water retention and root expansion characteristics, with no addition of cement as the control. The results showed that under low water content, the strength of the seed base increased with the increased level of cement, with the strength at 10% and 12% cement content being significantly higher than the control. Along with the increased level of cement, the water content of the seed base decreased while its strength and stability increased. As the level of cement increased, the saturated water content of the cement matrix formula reduced, while the evaporation loss ratio increased. When the cement content was 10% and 12%, the strength of the outer wall of the seed substrate was strong, and the length of the root system in the central hole was higher than outside the hole. Under the other cement treatments, the proportion of the root length outside the hole was higher than that in the hole. With the increased cement content, the total root length of the inner roots and the outer roots of the seed center disc gradually decreased. The proportion of the root length in smaller root diameter to the total root length was much higher than those with medium and thick roots. At low cement dosages (2%, 4%, 6%), the total length of the root system was longer than the control, which was conducive to the expansion of the root system. Too high cement concentration was not beneficial for root growth. The purpose of adding Portland cement to the seed—base was to benefit the seedling establishment, transportation and transplanting. Therefore, the seedling growth after the addition of Portland cement was the most direct parameter. When the moisture content was about 15%, the strength of the cement matrix was high and therefore suitable for the transportation and transplanting of the substrate. Combining the effects on the compressive strength, water retention characteristics and root expansion characteristics in seed base, the optimum cement dosage was about 2%.

Key words: seed-base; portland cement; compressive strength; water retention characteristics; root extensibility