

硼缓释型高吸水性树脂对油菜基质育苗的影响研究

李雪嫒 王宇欣* 王平智 封玲

(中国农业大学 水利与土木工程学院,北京 100083)

摘要 以自制羟丙基甲基纤维素含硼高吸水性树脂为试验材料,通过油菜育苗试验,采用单因素和正交试验方法,探究不同添加量下,含硼高吸水性树脂是否可以有效改善育苗基质理化性质、提高保水性能和促进油菜幼苗的生长。结果表明:随着含硼高吸水性树脂添加量的增加,各处理组的基质容重逐渐减小、总孔隙度和持水孔隙度逐渐增大、通气孔隙度先增大后减小、pH 逐渐增大、EC 值逐渐增大、有效硼含量逐渐升高;同时,随着育苗时间的延长,不同处理组基质相对含水率与含硼高吸水性树脂添加量呈正相关关系。因此,在适宜添加量范围内,含硼高吸水性树脂施用量的增加,能够促进油菜幼苗生长,而当施用量过大时将阻碍油菜幼苗正常生长。含硼高吸水性树脂适宜添加量范围为育苗基质质量的 0.3% 左右。

关键词 油菜幼苗; 含硼高吸水性树脂; 硼缓释性能; 基质理化性质

中图分类号 S278

文章编号 1007-4333(2020)07-0039-12

文献标志码 A

Effect of boron sustained-release superabsorbent resin on the growth and development of rapeseed seedlings

LI Xueyuan, WANG Yuxin*, WANG Pingzhi, FENG Ling

(College of Water Conservancy & Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract The self-made hydroxypropyl methyl cellulose boron-containing superabsorbent resin was used as test material. Through rapeseed seedling test, single factor and orthogonal test methods were used to investigate whether boron-containing super absorbent resin could improve the physical and chemical properties of seedling substrates and water retention and promote the growth of rapeseed seedlings. The results showed that the boron-containing superabsorbent resin changed the physicochemical properties of the substrate. With the increase of boron-containing superabsorbent resin, the bulk density of matrix decreased gradually, the total porosity and water-holding porosity increased gradually, the aeration porosity increased first and then decreased, pH, EC value and the effective boron content increased gradually. At the same time, with the extension of seedling time, there was a positive correlation between the relative water content of different treatment groups and the amount of boron containing superabsorbent resin. Therefore, within the appropriate range, the increase of the application amount of boron containing superabsorbent resin promoted the growth of rapeseed seedlings, but when the application amount was too large, it would hinder the normal growth of rapeseed seedlings. The suitable amount range of boron-containing superabsorbent resin was about 0.3% of the mass of seedling substrate.

Keywords rapeseed seedling; boron-containing superabsorbent resin; boron slow-release property; physicochemical properties of substrate

高吸水性树脂又称保水剂,是一种高分子聚合物,主要包括合成聚合类^[1]、天然高分子类^[2-4]和无

机复合类^[5-7]等多种类型。高吸水性树脂具有强吸水性、离子吸附缓释性和重复利用性等特点,除广泛

收稿日期: 2020-01-01

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503137)

第一作者: 李雪嫒,硕士研究生,E-mail:2651044113@qq.com

通讯作者: 王宇欣,副教授,主要从事农业生物环境与能源工程研究,E-mail:meller@163.com

应用于医疗卫生、建筑材料、环境治理^[8]等行业,也已逐渐应用于园林^[9]及农业节水工程^[10]等领域。Berber等^[11]以丙烯酸和水滑石为材料,制备了有机-无机复合型高吸水性树脂,并将其应用于土壤中,探究地下滴灌条件下高吸水性树脂对土壤的影响。结果显示,高吸水性树脂的添加有效提高了土壤含水量,同时对土壤水分分布格局具有显著改善效果。白岗栓等^[12]通过对比试验探究了聚丙烯酰胺和商品保水剂对苹果园土壤水分的影响,发现聚丙烯酰胺和其他商品保水剂可显著提高雨季时期0~50 cm土层含水量,同时可提高苹果产量。高吸水性树脂除了可以减缓水分损失、提高土壤含水量外,还可以改善土壤团粒结构^[13]、增强土壤微生物活性^[14]、吸收重金属^[15],进而促进植物健康生长。于明英等^[16]通过栽培试验探究了保水剂对沙培小油菜的影响,发现保水剂可有效减缓沙土中水分散失、降低小油菜单株日均灌水量、提高小油菜产量。蒋雅琴等^[17]探究不同粒径保水剂和不同添加量对茄子、节瓜和丝瓜的影响。结果表明,育苗基质保肥能力,随保水剂用量增加而提高,但过高浓度保水剂会抑制蔬菜幼苗生长,小粒径的保水剂壮苗率优于大粒径保水剂。李杨等^[18]通过对比试验探究不同添加量高吸水性树脂对沙质土壤物理性质和玉米生长情况的影响,发现当高吸水性树脂质量分数为0.5%~1.0%时对土壤水分特性改善效果最佳,高吸水树脂可延长玉米存活时间。

由于高吸水性树脂具有离子吸附、缓释等性能^[19-21],所以具有肥料缓释功能的高吸水树脂研究逐渐兴起。Xiao等^[22]通过2种方法制备了含有尿素的淀粉基高吸水树脂,并对吸水树脂凝胶强度、吸水倍率和肥料缓释等性能进行了测定:方法1是在吸水树脂合成后期加入尿素;方法2是首先将尿素与淀粉混合糊化后再进行制备。其测定结果显示:当其余制备条件一致时,方法1制备的吸水树脂凝胶强度明显大于方法2,但吸水倍率小于方法2;2种方法制得的吸水树脂缓释肥尿素释放率在30 d后可超过80%,释放过程可持续45 d以上。Chen等^[23]先利用聚乙烯醇、聚乙烯吡咯烷酮和生物炭合成吸水聚合物,后以此聚合物包裹尿素制备缓释肥料并测定了聚合膜的吸水性、生物降解性和缓释肥的缓释性能。上述试验结果显示:生物炭的加入降低了聚合物的吸水率,增强了生物降解性。目前,有关肥料缓释型高吸水性树脂的研究多以氮、磷、

钾肥为主,但随着种植年限的增长,土壤营养失衡及微量元素缺乏问题也逐渐加重,具有氮、磷、钾缓释作用的高吸水性树脂已经不能满足农业种植的需要。

硼元素是植物必需的微量元素,缺硼会阻碍植物正常生长^[24-25]。我国南方的红壤、砖红壤等土壤缺硼较为突出,北方的黄绵土、褐土等土壤也易出现缺硼问题。据统计,我国超过17个省的耕地缺硼比例>60%^[26]。土壤缺硼对于油菜、甘蓝和豆科植物等需硼量大的作物具有严重影响。我国常见硼肥主要包括硼砂、硼酸和硼镁肥等,其中硼砂和硼酸易随灌溉水流失,硼镁肥有效硼含量较低。因此开发一种具有硼缓释性能的高吸水性树脂,在实现农业种植节水的同时,为土壤补充硼元素,从而促进农作物的健康生长具有重要价值。本试验拟通过油菜育苗试验,将不同比例含硼高吸水性树脂应用于育苗基质,探究含硼高吸水性树脂对基质理化性质以及油菜幼苗生长的影响,以期筛选适宜的添加量,并为含硼高吸水性树脂的推广提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试蔬菜为‘秦油十号’甘蓝型油菜,陕西优质油菜良种基地繁育。

育苗基质购于黑龙江五常杨晓东育苗基质加工厂,主要成分为草炭、蛭石和珍珠岩,三者体积比为2:1:1,基本理化性质如表1所示。

含硼高吸水性树脂:研究团队自制羟丙基甲基纤维素含硼高吸水性树脂,产物吸去离子水倍率达344.06 g/g,吸生理盐水倍率达44.71 g/g, pH为7.33。

营养液采用日本园试配方(不施加硼肥),试剂及用量如表2所示。

1.2 试验设计

试验于2018年11月1日—2018年12月8日在中国农业大学水利与土木工程学院实验室进行。以含硼高吸水性树脂添加量(含硼高吸水性树脂占烘干基质质量百分比)为变量设置5个处理,包括对照组(CK)、添加量0.1%(T1)、添加量0.3%(T2)、添加量0.5%(T3)、添加量0.7%(T4)。测定各处理组的基质容重、总孔隙度、持水孔隙度、通气孔隙度、pH、EC值、相对含水率和有效硼含量,并测定基

表 1 栽培基质基本理化性质

Table 1 Basic physicochemical properties of culture substrate

pH	EC/(μ S/cm)	水解氮/(mg/kg) Hydrolyzed nitrogen	速效磷/(mg/kg) Available phosphorus	速效钾/(mg/kg) Available potassium
6.0~7.5	100~200	80~120	50~100	80~120

表 2 营养液配方

Table 2 Nutrition solution formula

mg/L

四水硝 酸钙 Calcium nitrate tetrahy- drate	磷酸氢 二铵 Diammo- nium hydrogen phosphate	七水硫酸镁 Magne- sium sulfate heptahy- drate	乙二胺四 乙酸二 钠铁 Disodium iron EDTA	四水硫- 酸锰 Manganese sulfate tetrahy- drate	七水硫 酸锌 Zinc sulfate heptahy- drate	五水硫 酸铜 Cupric sulfate pentahy- drate	四水钼 酸铵 Ammo- nium molybdate sihydrate	
472.5	404.5	76.5	246.5	30	2.13	0.22	0.08	0.02

质硼元素淋溶情况。采用 5×10 的育苗穴盘,各穴装入 20 g 干燥基质和相应添加量的含硼高吸水性树脂,每穴播种 2 粒种子,出苗后每穴只留 1 棵幼苗,育苗期间各处理保持灌水量一致。

油菜幼苗第一片真叶展开(育苗第 15 天)起,每 5 d 记录各组幼苗株高、茎粗、叶面积和叶绿素含量值,每 10 d 测定各组幼苗地上地下干鲜重,并计算各组幼苗根冠比、日均干重增长量、壮苗指数,每组 6 次重复。育苗第 37 天测定各组幼苗根系活力及幼苗含硼量。育苗期间,自第一片真叶展开(育苗第 15 天)起,每 10 d 测定各组基质的 pH 和 EC 值,并在栽培第 24、28、32 天,即浇灌后第 3 天测定各组基质相对含水率。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 基质理化性质

基质容重、总孔隙度、持水孔隙度、通气孔隙度、pH、EC 值和相对含水率按照《NYT2118—2012 蔬菜育苗基质》进行测定。基质有效硼含量根据标准《NY/T1121.8—2006 土壤检测》中有效硼的测定方法进行测定。

1.3.2 基质淋溶硼含量

取 20 g 各处理组基质进行土柱淋洗试验。第 1 天,各组浇水至饱和后继续浇水 20 mL,之后每隔 3 d 向基质浇水 20 mL,每次浇水后收集滤液并稀释至 15 mL,采用甲亚胺-H 分光光度计法测定各

组滤液含硼量。

1.3.3 油菜幼苗生长、生理指标

株高使用直尺测量基质表面至幼苗茎尖生长点距离;茎粗使用数显游标卡尺测量幼苗子叶下端茎粗;叶面积采用画纸称重法测定每株幼苗真叶叶面积;叶绿素相对含量使用 SPAD-502 叶绿素仪进行测定,测定时间选在上午 10:00—11:00 进行,每片叶片随机选取 3 个点进行测定,以每株全部叶片叶绿素相对含量平均值作为该株幼苗的叶绿素相对含量值;地上、地下鲜重即洗净基质并擦干水分后的地上、地下质量,地上、地下干重即幼苗地上和地下部在 105 °C 条件下杀青 30.0 min,然后烘干至恒重;根冠比(RTR)、日均干重增长量(GV)、壮苗指数(SI)根据相应公式进行计算;根系活力采用 TTC 法进行测定;植株硼含量根据《GB 5009-268—2016 食品安全国家标准》相关规定进行测定。

根冠比(RTR)计算公式如下:

$$RTR = \frac{G_1}{G_2} \quad (1)$$

式中: G_1 为幼苗地下部干重,g; G_2 为幼苗地上部干重,g。

日均干重增长量(GV)计算公式如下:

$$GV = \frac{G_2}{t} \quad (2)$$

式中: t 为测定当日育苗天数,d。

壮苗指数(SI)计算公式如下:

$$SI = \left(\frac{d}{h} + \frac{G_1}{G_2} \right) \times G_3 \quad (3)$$

式中: d 为幼苗株高,cm; h 为幼苗茎粗,cm; G_3 为幼苗全株干重,g。

2 结果与分析

2.1 含硼高吸水性树脂对栽培基质的影响

2.1.1 对基质初始理化性质的影响

将所测得不同处理组基质理化性质数据与《NY/T 2118—2012 蔬菜育苗基质》中蔬菜基质理化性质的适宜范围进行比较,分析含硼高吸水性树脂的添加对基质初始理化性质造成的影响,结果表明随着含硼高吸水性树脂添加量的增加,育苗基质容重逐渐减小,且均在育苗基质适宜容重范围内(表3);CK、T1、T2 各组间容重值差异不显著;T2、T3 和 T4 各组间容重值差异不显著;CK、T1 和 T3、T4 各组间容重值差异显著。随着含硼高吸水性树脂添加量的增加,育苗基质总孔隙度和持水孔隙度逐渐增加,而通气孔隙度先增后降,且各孔隙度均高于育苗基质适宜孔隙度最低值;CK 组与 T4 组间总

孔隙度和持水孔隙度存在显著性差异,其它各组间差异不显著。含硼高吸水性树脂具有良好的吸水膨胀性,吸水后体积变大,可起到疏松基质的作用,所以随着含硼高吸水性树脂添加量的增加,育苗基质通气孔隙度逐渐增加。而当含硼高吸水性树脂添加量过多时,体积膨大的吸水树脂将会对通气孔隙起到填充的作用,从而降低了基质通气孔隙度。含硼高吸水性树脂具有良好的吸水性,所以随着其用量的增加,基质持水能力逐渐增加,基质持水孔隙度逐渐增大。基质总孔隙度等于通气孔隙度和持水孔隙度之和,而含硼高吸水性树脂的添加对基质持水孔隙度的增加程度大于对通气孔隙度的影响,所以总孔隙度随含硼高吸水性树脂用量的增加而增加。随着含硼高吸水性树脂添加量的增加,基质的 pH 稍有增大,但各处理组之间无显著差异。随着含硼高吸水性树脂添加量的增加,基质 EC 值逐渐增大。含硼高吸水性树脂内含有多种电解质,可在吸水及搅拌等过程中释放,从而导致基质溶液 EC 值增大。当含硼高吸水性树脂添加量为 0.7% 时,基质的 EC 值已经超过了育苗基质 EC 值的适宜范围(100~200 $\mu\text{S}/\text{cm}$)。

表3 基质理化性质

Table 3 Physicochemical properties of seedling substrates

处理 Treatment	容重/(g/cm ³) Bulk density	总孔隙度/% Total porosity	通气孔隙度/% Aeration porosity	持水孔隙度/% Water holding porosity	pH	EC/($\mu\text{S}/\text{cm}$)
CK	0.464±0.009 a	84.58±1.07 c	21.71±1.35 b	62.88±2.22 b	6.31±0.02 a	150±0.70 a
T1	0.431±0.018 a	89.54±1.99 b	25.46±2.56 a	64.08±2.53 b	6.36±0.09 a	179±1.27 b
T2	0.424±0.041 ab	89.73±2.24 b	25.41±1.12 a	64.32±2.82 b	6.37±0.03 a	187±1.25 c
T3	0.420±0.022 b	91.00±1.60 ab	23.78±3.75 a	67.21±3.44 b	6.37±0.02 a	200±2.47 d
T4	0.417±0.006 b	92.21±1.17 a	20.11±2.15 b	72.10±2.68 a	6.37±0.02 a	228±0.93 e

注:试验以含硼高吸水性树脂添加量(含硼高吸水性树脂占烘干基质质量百分比)为变量设置5个处理,包括对照组(CK)、添加量0.1%(T1)、添加量0.3%(T2)、添加量0.5%(T3)、添加量0.7%(T4)。表中数字后不同字母表示不同处理之间的差异,相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著($P<0.05$)。下同。

Note: In the experiment, the amount of boron containing superabsorbent resin (the percentage of boron containing superabsorbent resin in the mass of drying matrix) is used as the variable to set five treatments, including the control group (CK), the amount of 0.1% (T1), the amount of 0.3% (T2), the amount of 0.5% (T3) and the amount of 0.7% (T4). Different letters after the numbers in the table indicate the differences between different treatments, while the same letters indicate the difference is not significant, and the different letters indicate the difference is significant ($P<0.05$). The same below.

2.1.2 对栽培期间基质理化性质的影响

栽培过程中各处理组基质的 pH 和 EC 值变化

情况如表4所示。栽培第20天,基质 pH 随含硼高吸水性树脂添加量的增加而增加,CK 组与 T1、T2、

T3 和 T4 组之间差异性显著。栽培第 25 天, 各组基质 pH 与含硼高吸水性树脂的添加量之间无明显的规律性关系, CK 和 T1 间无显著性差异, T2、T3 和 T4 组间无显著性差异, CK 和 T1 这 2 组与 T2、T3 和 T4 这 3 组间存在显著性差异。栽培第 30 天, 基质 pH 随含硼高吸水性树脂添加量的增加而

逐渐增大, T2 组基质 pH 平均值为 6.52, 是各处理组中最大值。栽培基质 EC 值随含硼高吸水性树脂添加量的增加逐渐增大。含硼高吸水性树脂具有良好的保水保肥性能, 含硼高吸水性树脂添加量越多, 吸收存贮的营养液越多, 导致基质 EC 值增大。

表 4 育苗期间基质 pH 和 EC 值

Table 4 pH and EC of seedling substrates during seedling raising

处理 Treatment	pH			EC/(μ S/cm)		
	20 d	25 d	30 d	20 d	25 d	30 d
CK	6.12 \pm 0.01 c	6.13 \pm 0.11 a	6.20 \pm 0.07 c	156 \pm 0.15 d	156 \pm 0.15 d	139 \pm 1.33 d
T1	6.17 \pm 0.03 bc	6.05 \pm 0.02 a	6.35 \pm 0.06 b	161 \pm 0.7 c	160 \pm 1.76 c	152 \pm 1.64 c
T2	6.20 \pm 0.02 b	5.93 \pm 0.02 b	6.52 \pm 0.09 a	163 \pm 2.1 c	163 \pm 1.40 c	160 \pm 1.61 c
T3	6.27 \pm 0.04 ab	5.86 \pm 0.02 b	6.20 \pm 0.02 c	170 \pm 1.91 b	170 \pm 2.31 b	275 \pm 4.79 b
T4	6.28 \pm 0.06 a	5.94 \pm 0.03 b	6.25 \pm 0.03 bc	183 \pm 1.78 a	184 \pm 0.79 a	288 \pm 2.95 a

2.1.3 对基质保水性能的影响

各处理组中的基质吸水饱和后, 基质相对含水率随时间变化曲线如图 1 所示。由图可见, 随着含硼高吸水性树脂添加量的增加, 基质饱和含水率逐渐增大, 说明含硼高吸水性树脂的添加可以有效提高基质吸水能力, 从而提高灌溉水的利用率。T4 组基质饱和含水率可达到 64.01%, 而 CK 组仅为 52.94%。此外, T1、T2、T3 和 T4 组基质与 CK 组

基质相比, 相对含水率下降速率低。浇水后第 7 天, CK、T1、T2、T3 和 T4 组基质相对含水率分别降至 22.76%、30.90%、36.21%、41.17% 和 44.90%, T2、T3 和 T4 组基质的相对含水率明显高于 CK 组。浇水后第 14 天, CK 组基质相对含水率已降至 1.85%, 而添加含硼高吸水性树脂的处理组仍保持在 3.37% 以上, T4 组基质相对含水率仍可达到 11.76%。

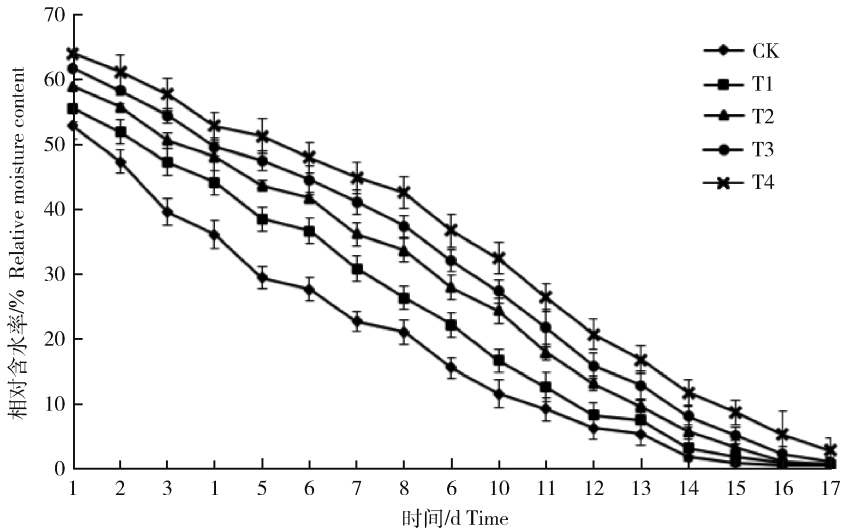


图 1 不同含硼高吸水性树脂添加量对各处理组基质相对含水率变化的影响

Fig. 1 Effect of different amounts of boron containing superabsorbent resin on the change of relative moisture in each treatment group

栽培后第24、28和32天时,各处理组基质相对含水率变化情况如图2所示。由图2可知,在栽培第24、28和32天时,基质相对含水率均随着含硼高吸水性树脂添加量的增加而增大,T4与CK、T1、T2间存在显著性差异,并且随着含硼高吸水性树脂添加量的增加,基质吸液和储液性能逐渐提高:栽培第24天,CK、T1、T2、T3和T4各组基质相对含水率分别为38.19%、45.84%、50.54%、53.88%和56.68%,T4组基质相对含水率比CK组高48.42%;栽培第28天,CK、T1、T2、

T3和T4各组基质相对含水率分别为36.55%、43.63%、47.82%、51.05%和53.41%;栽培第32天,CK、T1、T2、T3和T4各组基质相对含水率分别为33.58%、40.55%、44.14%、48.06%和50.19%。可见,各组基质随栽培时间的延长,浇灌3d后的基质相对含水率逐渐下降。随着油菜幼苗逐渐长大,其所需水分和营养逐渐增加,所以随着栽培时间的延长,浇灌后各组油菜吸收的营养液量逐渐增加,进而导致各组基质的相对含水率逐渐降低。

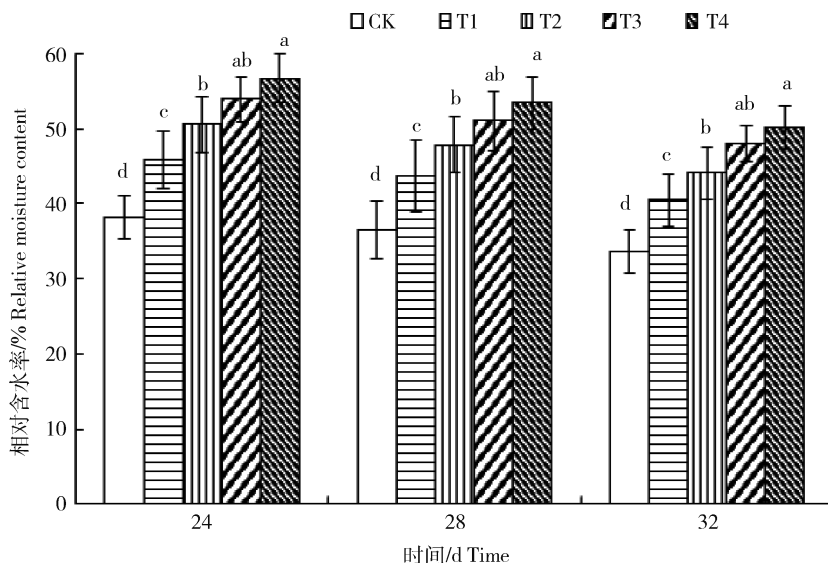


图2 栽培时间对各处理组基质相对含水率的影响

Fig. 2 Effects of different treatment on the relative water content of substrates under different cultivation days

2.1.4 对基质淋溶硼的影响

测试不同处理组中育苗基质有效硼含量,结果表明随着含硼高吸水性树脂添加量的增加,育苗基质有效硼含量逐渐增大。CK组中基质有效硼含量为0.78 mg/kg, T1、T2、T3和T4组有效硼含量分别比CK组高0.18、0.50、1.08和1.52 mg/kg。

不同处理组中淋溶硼累积曲线如图3所示。由图可知,基质淋溶硼元素总量随时间延长而增加。第1天,CK组中淋溶硼量为8.04 μg , T1、T2、T3和T4组分别为8.47、10.02、11.53和12.49 μg ;第25天,CK组淋溶硼累积量为33.91 μg , T1、T2、T3和T4组淋溶硼累积量分别为36.37、43.28、49.84和58.03 μg ;第30天,基质硼淋溶总量基本不再增加,CK、T1、T2、T3和T4各组淋溶硼累计总量分别为34.64、37.00、44.20、51.16和59.48 μg , T1、T2、

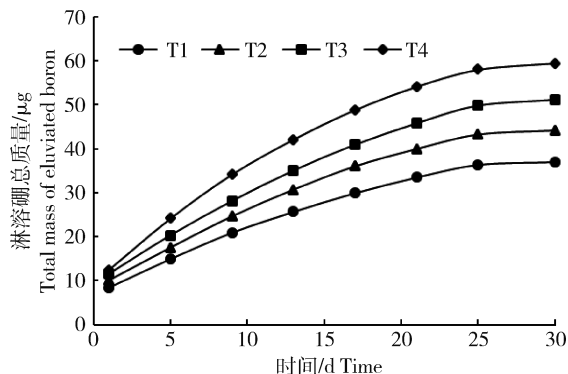


图3 不同处理组基质淋溶硼累积量随时间增长曲线

Fig. 3 Growth curve of matrix leaching boron accumulation in different treatment groups over time

T3和T4组基质淋溶硼总量分别比CK组多2.36、9.56、16.52和24.84 μg 。同时,由于基质中有效硼

的含量有限,易于溶解释放的硼元素首先淋溶,之后不易释放的硼元素缓慢释放直至淋溶完毕,使得各组基质释放的淋溶硼总量的增长速率呈现逐渐减小的趋势。

2.2 含硼高吸水性树脂对油菜幼苗的影响

2.2.1 对油菜出苗率的影响

5个处理组油菜出苗率均 $>95\%$,且各组间无显著性差异。由油菜出苗率可以看出,含硼高吸水性树脂的添加不会对油菜出苗造成不良影响。

2.2.2 对油菜株高的影响

油菜幼苗栽培过程中株高随时间的变化情况如图4所示。栽培第15天时,T4组油菜幼苗株高最大,显著高于其他4组;CK组油菜幼苗株高最小,CK与T1组间无显著性差异,T3与T4组间无显著性差异。T4组油菜幼苗株高较高可能是因为该处

理组含硼高吸水性树脂含量较高,所以浇水后基质含水量较大,进而造成幼苗生长旺盛。栽培第20天时,CK、T1、T2、T3和T4组间无显著性差异,T2组油菜幼苗株高最大,之后依次为T1、T4、T3和CK组。栽培第25、30和35天,T2组油菜幼苗株高均为最大值,T4组油菜株高逐渐变为最小值,油菜幼苗株高随含硼高吸水性树脂添加量的增加先增后减。栽培第25天,CK、T1和T2组间无显著性差异,T3和T4组间无显著性差异,CK、T1、T2和T3、T4组间存在显著性差异。栽培第30和35天,T2组与其他各组间均存在显著性差异。含硼高吸水性树脂具有良好的吸水 and 保水性,可有效保持基质的湿度,同时还可以补充基质内硼元素,有利于促进油菜幼苗生长。但是,当含硼高吸水性树脂添加量过大时,基质的含水率过高会影响油菜幼苗根部的呼吸,导致油菜幼苗生长迟缓。

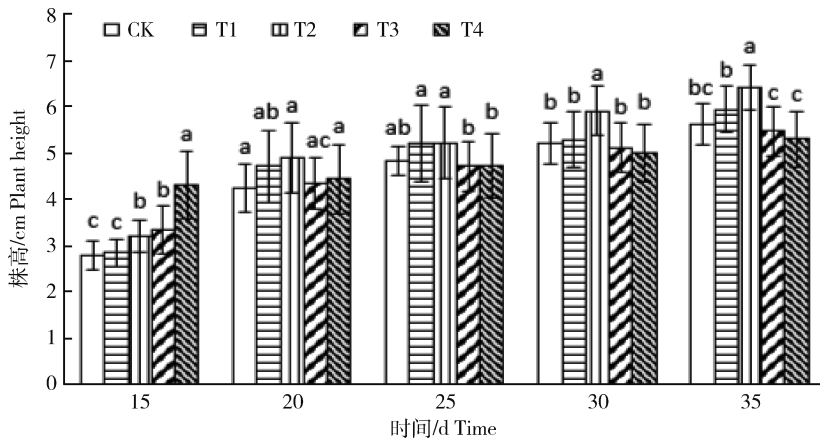


图4 栽培时间对不同处理组油菜幼苗株高的影响

Fig. 4 Effects of different treatment on the plant height of rapeseed under different cultivation days

2.2.3 对油菜茎粗的影响

油菜幼苗茎粗随栽培时间变化情况如图5所示。由图可知随含硼高吸水性树脂添加量的增加,油菜幼苗茎粗先增后减。栽培第15天,T2组油菜幼苗茎粗值最大,T2和T3组之间无显著性差异,T3、T4和T1组之间无显著性差异,CK和T1组之间无显著性差异。栽培第20天,T2组油菜幼苗茎粗与T1和T4组间无显著性差异,与CK和T3组间存在显著性差异。栽培第25和30天,各处理组间差异不显著。栽培第35天,T2组油菜幼苗茎粗最大,达到1.67 mm,T2组油菜幼苗茎粗与T1组间无显著性差异,与CK、T3和T4组间差异显著。

2.2.4 对油菜叶面积的影响

各处理组中油菜幼苗单株叶面积随栽培时间变化情况如图6所示。由图可知栽培期间油菜幼苗单株叶面积随含硼高吸水性树脂添加量的增加先增后减。栽培第35天,T2组油菜幼苗单株叶面积最大,达到 119.65 cm^2 ,较CK组油菜幼苗提高了 37.39% ;T4组油菜幼苗单株叶面积最小,仅为 72.65 cm^2 ,较CK组油菜幼苗低 16.58% 。

2.2.5 对油菜干鲜重的影响

栽培期间各组油菜幼苗地上、地下干鲜重如图7所示。由图7中数据可以看出,各组油菜幼苗干鲜重间差异性随着栽培时间的增加而逐渐显著。

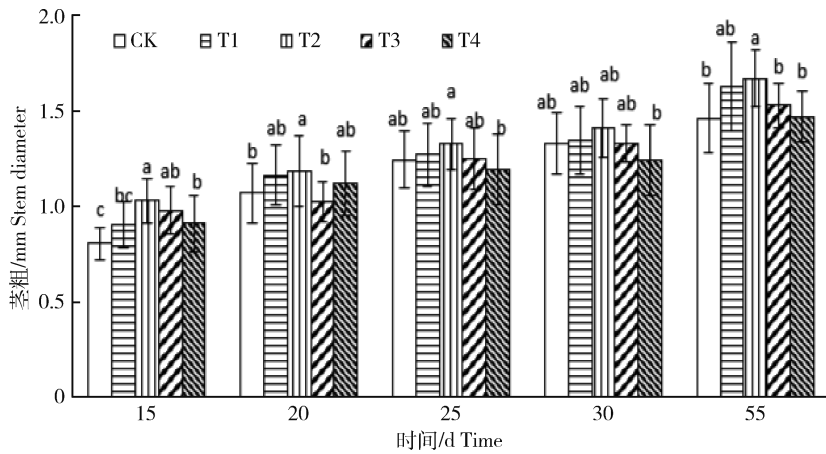


图5 栽培时间对不同处理组油菜幼苗茎粗的影响

Fig. 5 Effects of different treatment on the stem thickness of rapeseed seedlings under different cultivation days

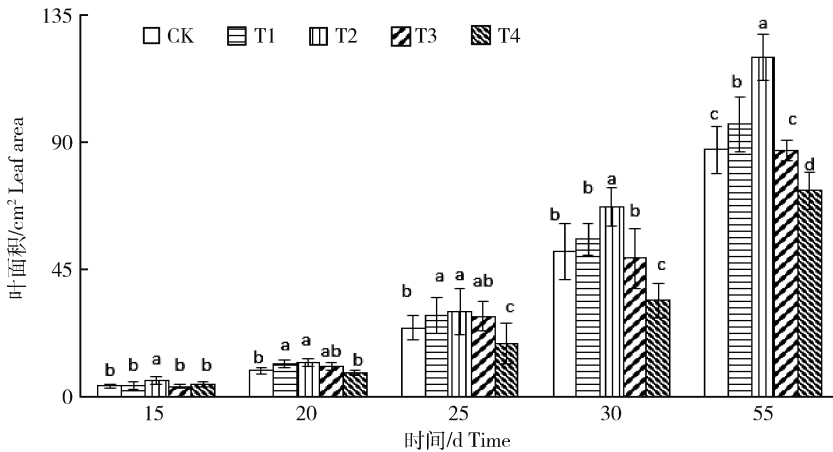


图6 栽培时间对不同处理组油菜幼苗叶面积的影响

Fig. 6 Effects of different treatment on the leaf area of rapeseed seedlings under different cultivation days

栽培第15天时,CK、T1、T2各组间无显著性差异, T3和T4组间无显著性差异,而CK、T1和T2这3组与T3、T4组间存在显著性差异。栽培第25和35天时,T2组油菜幼苗地上、地下干鲜重均为最大值,且与其他各组间均存在显著性差异。栽培第35天时,T2组油菜幼苗地上鲜重为3.03 g、地上干重为0.19 g、地下鲜重为0.14 g、地下干重为0.02 g,分别比CK组高56.25%、28.83%、112.05%和50%。当含硼高吸水性树脂添加过量时,基质湿度过大、电导率过大等问题不利于幼苗根系的活动与生长,导致幼苗无法正常吸收营养物质,进而出现幼苗生长不良问题。

2.2.7 对油菜根冠比的影响

各组油菜幼苗根冠比平均值均在0.10左右,油

菜幼苗根冠比在育苗阶段均随着含硼高吸水性树脂添加量的增加而减小(图8)。根冠比与基质水分含量有关,基质相对干燥时,根冠比较大;基质水分较多时,根冠比较小。由于添加含硼高吸水性树脂可以提升基质含水率,所以根冠比随着树脂添加量的增加而降低。栽培第35天,T4组油菜幼苗根冠比平均值为0.079,较CK组根冠比低27.51%。

2.2.8 对油菜日均干重增长量的影响

育苗期间各组油菜幼苗日均干重增长量变化情况如图9所示。由图可知,油菜幼苗日均干重增长量随含硼高吸水性树脂添加量的增加先增后减。栽培第15、25和35天,各处理组之间差异性逐渐显著,T2组油菜幼苗日均干重增长量均最大。

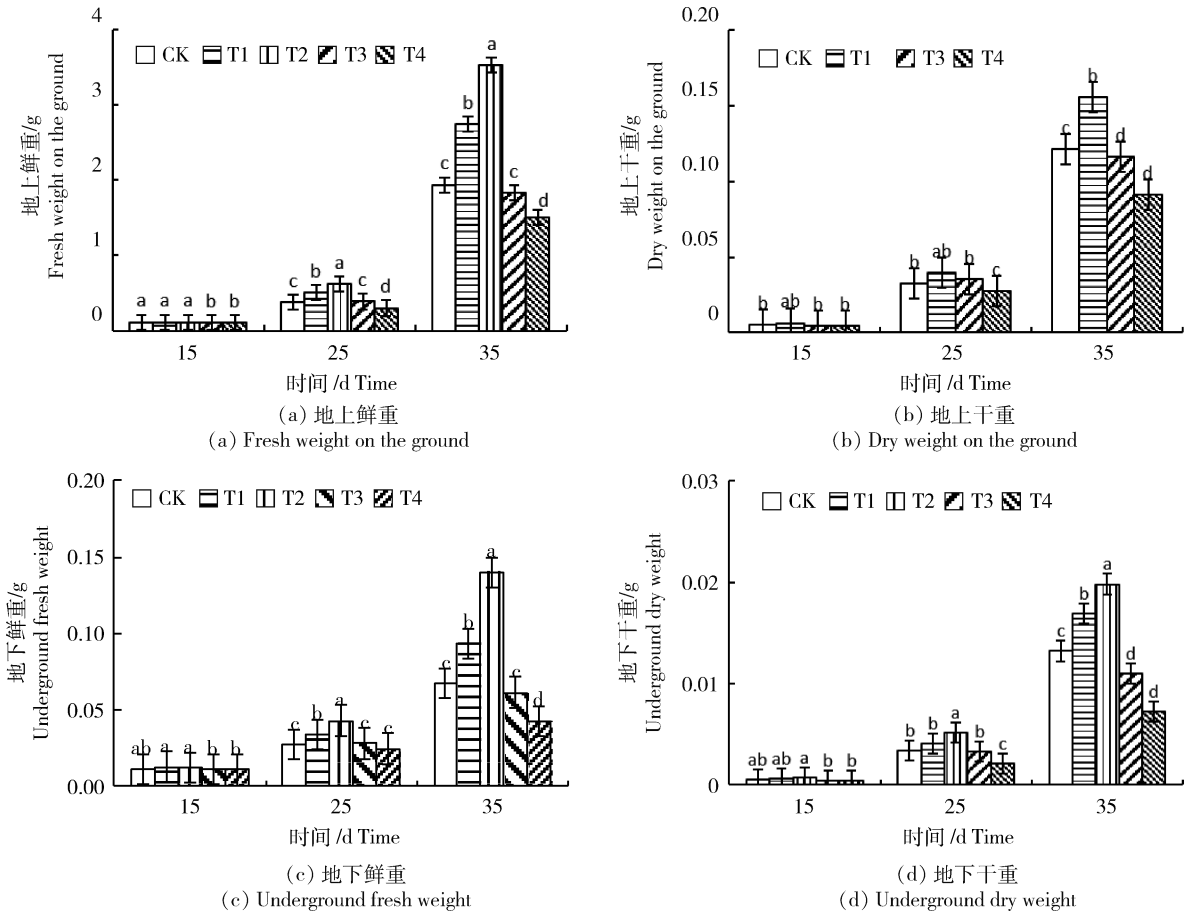


图 7 不同处理组的油菜幼苗干鲜重随时间增加情况

Fig. 7 Increase in the dry and fresh weight of rapeseed seedlings over time in different treatment groups

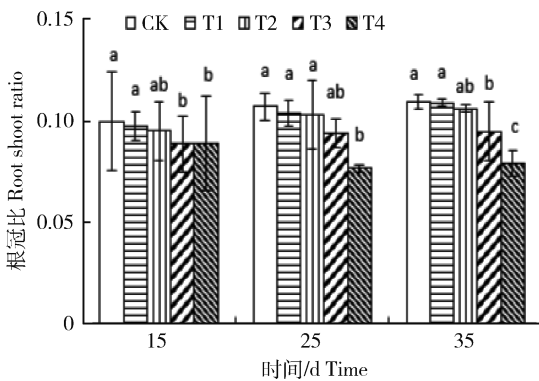


图 8 不同处理组油菜幼苗根冠比随时间变化情况

Fig. 8 Effects of different treatments on the root shoot ratio of rapeseed seedlings under different cultivation days

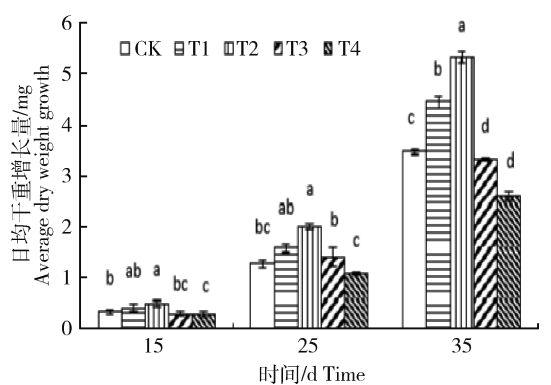


图 9 不同处理组油菜幼苗日均干重增长量随时间变化情况

Fig. 9 Effects of different treatment on the average daily dry weight growth of rapeseed seedlings under different cultivation days

2.2.9 对油菜壮苗指数的影响

栽培期间各处理组中油菜幼苗壮苗指数变化情况如图 10 所示。由图可知，T2 组油菜幼苗壮苗指数与其他处理组间差异性随育苗时间增加而逐渐增

大。栽培第 15 和 25 天，CK、T1、T2 和 T3 这 4 组间无显著性差异，而与 T4 组间存在显著性差异。

栽培第35天, T2组与CK、T1、T3和T4组间存在显著性差异, T2组幼苗壮苗指数为0.34, 比CK组高25.93%。

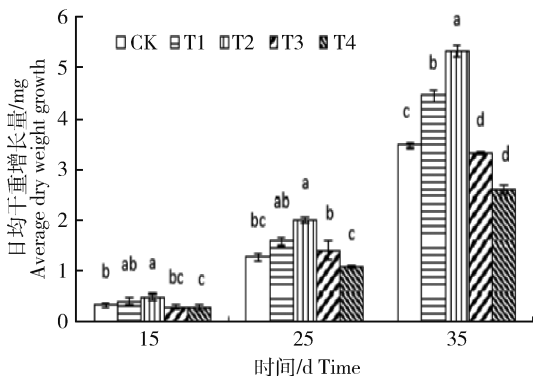


图10 不同处理组油菜幼苗壮苗指数随栽培时间的变化

Fig. 10 Effects of different treatment on the seedling index of rapeseed seedlings under different cultivation days

2.2.10 对油菜根系活力的影响

栽培第35天, 各处理组油菜幼苗根系活力变化情况如图11所示。由图可知, 幼苗根系活力随含硼高吸水性树脂添加量的增加先增后减。栽培第35天, CK、T1、T2、T3和T4各组油菜幼苗根系活力分别为0.60、0.95、1.20、0.75和0.73, T2组根系活力值约为CK组根系活力值的2倍, 比T1组高26.32%。根系活力反应根的生长情况和活力水平, 直接影响幼苗对营养的吸收, 从而对幼苗生长产生影响。适量添加含硼高吸水性树脂可改善基质理化性质, 促进根系健康生长, 而过量的含硼高吸水性树脂破坏了基质的适宜性, 导致根系受损、根系活力下降。

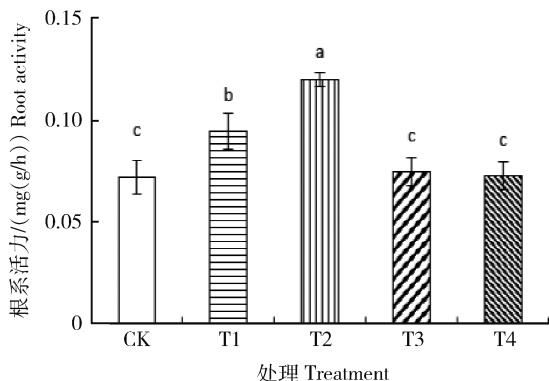


图11 不同处理对油菜幼苗根系活力的影响

Fig. 11 Effects of different treatments on the root vigor of rapeseed seedlings

2.2.11 对油菜含硼量的影响

栽培37天后, 各处理组中油菜幼苗整株硼含量如表5所示。由表5中数据可知, 油菜幼苗含硼量随着含硼高吸水性树脂添加量的增加先增后减。当含硼高吸水性树脂添加量过大时, 虽然基质中有效硼含量继续增大, 但是由于基质环境不适于幼苗生长发育, 所以幼苗可能出现吸收营养受阻等不良现象。

表5 油菜硼含量

Table 5 Effective boron content in rapeseed seedlings mg/kg

项目 Item	处理 Treatment				
	CK	T1	T2	T3	T4
有效硼含量 Available boron content	3.06	3.28	3.68	3.42	2.60

3 结论与讨论

1) 试验结果表明, 含硼高吸水性树脂对基质的理化性质影响较大。随着含硼高吸水性树脂添加量的增加, 基质容重呈现逐渐减小的趋势, 基质总孔隙度和持水孔隙度呈现逐渐增大的趋势, 基质pH呈现逐渐增大的趋势, 同时基质的EC值也呈现逐渐增大的趋势。含硼高吸水性树脂的添加量为0.7%时, 基质的容重、总孔隙度和pH等指标符合《NY/T 2118—2012 蔬菜育苗基质》标准要求的适宜范围。

2) 含硼高吸水性树脂可有效提高育苗基质含硼量, 缓释时长可持续25d以上。硼元素缓释速率随育苗时间的延长而降低, 硼元素缓释总量随含硼高吸水性树脂添加量的增加而增加。试验表明, 当基质水分含量得到改善后, 基质孔隙和含硼量成为影响幼苗生长的主要因素, 添加量过高会减小基质孔隙, 不利于幼苗根系的呼吸和生长。实际育苗试验中, 含硼高吸水性树脂的添加量小于0.3%时, 油菜幼苗壮苗指数和根系活力等生长生理指标随含硼高吸水性树脂添加量的增加而提高。

3) 土壤缺硼和水资源不足已成为制约我国农业健康发展的重要因素, 需要寻求安全有效的补硼和节水技术, 以促进我国农业的可持续发展。目前有关缓释型高吸水性树脂的研究多集中在氮、磷、钾等

大量性元素,而硼缓释型高吸水性树脂的应用研究还处在探索阶段。下一步需要以红壤、砖红壤、黄绵土和褐土等缺硼性土壤为研究对象,开展含硼高吸水性树脂缓释规律和对农作物产量、品质的促进效果研究,以期对含硼高吸水性树脂的推广应用提供理论依据。

参考文献 References

- [1] Zhuo Y G, Liu J, Yang F, Li Q S, Xing G Z. Preparation and characterization of PVA/P(AA-AM) superabsorbent polymer [J]. *Integrated Ferroelectrics*, 2017, 179(1): 166-172
- [2] 宋安新, 霍晓月, 高雪, 孙鹏飞, 关凤禹, 王家盛, 张伟. 淀粉/AMPS/DMC高吸水树脂的合成及对重金属离子的吸附性能[J]. *化学通报*, 2017, 80(1): 94-98, 107
- Song A X, Huo X Y, Gao X, Sun P F, Guan F Y, Wang J S, Zhang W. Synthesis and absorption properties of starch/AMPS/DMC superabsorbent resin[J]. *Chemistry*, 2017, 80(1): 94-98, 107 (in Chinese)
- [3] Fang S X, Wang G J, Li P C, Xing R, Liu S, Qin Y K, Yu H H, Chen X L, Li K C. Synthesis of chitosan derivative graft acrylic acid superabsorbent polymers and its application as water retaining agent[J]. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018, 115: 754-761
- [4] Zhao Y, Chen Y, Zhao J, Tong Z R, Jin S H. Preparation of SA-g-(PAA-co-PDMC) polyampholytic superabsorbent polymer and its application to the anionic dye adsorption removal from effluents [J]. *Separation and Purification Technology*, 2017, 188: 329-340
- [5] 赵秋丽, 王海婷, 刘文波, 杨羽佳, 吴海洋, 聂俊毅, 连家均. 反相悬浮法制备聚(丙烯酸-丙烯酰胺)/粉煤灰高吸水树脂[J]. *化工新型材料*, 2017, 45(2): 95-97
- Zhao Q L, Wang H T, Liu W B, Yang Y J, Wu H Y, Nie J Y, Lian J J. Synthesis and property of superabsorbent poly(acrylic acid-acrylamide)/fly ash by inverse suspension polymerization[J]. *New Chemical Materials*, 2017, 45(2): 95-97 (in Chinese)
- [6] Pathak V M, Kumar N. Dataset on the superabsorbent hydrogel synthesis with SiO₂, nanoparticle and role in water restoration capability of agriculture soil[J]. *Data in Brief*, 2017, 13: 291-294
- [7] Wang Z M, Ning A M, Xie P H, Gao G Q, Xie L X, Li X, Song A D. Synthesis and swelling behaviors of carboxymethyl cellulose-based superabsorbent resin hybridized with graphene oxide[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2017, 157: 48-56
- [8] Yang L X, Yang Y, Chen Z, Guo C X, Li S C. Influence of super absorbent polymer on soil water retention, seed germination and plant survivals for rocky slopes eco-engineering[J]. *Ecological Engineering*, 2014, 62: 27-32
- [9] 李猛. 林业保水剂及其在园林绿化中的应用[J]. *现代农村科技*, 2016(11): 41-42
- Li M. Forestry water-retaining agent and its application in landscape greening[J]. *Xiandai Nongcun Keji*, 2016(11): 41-42 (in Chinese)
- [10] 闫永利, 魏占民, 任秀苹, 奇凤. 保水剂对土壤持水性影响及在不同土壤中效果比较[J]. *节水灌溉*, 2016(1): 34-38
- Yan Y L, Wei Z M, Ren X P, Qi F. Influence of water retaining agent on soil water holding capacity and its effect comparison in different soils [J]. *Water Saving Irrigation*, 2016(1): 34-38 (in Chinese)
- [11] Berber M R, Hafez I H, Minagawa K, Tanaka M, Mori T. An efficient strategy of managing irrigation water based on formulating highly absorbent polymer: Inorganic clay composites[J]. *Journal of Hydrology*, 2012(470-471): 193-200
- [12] 白岗栓, 邹超煜, 李晶晶, 于健, 宋日权. PAM和保水剂对苹果园土壤水分含量及苹果生长的影响[J]. *中国果树*, 2015(3): 10-15
- Bai G S, Zou C Y, Li J J, Yu J, Song R Q. Effects of PAM and water-retaining agent on soil moisture content and apple growth in apple orchards[J]. *China Fruits*, 2015(3): 10-15 (in Chinese)
- [13] Li X, He J Z, Hughes J M, Liu Y R, Zheng Y M. Effects of super-absorbent polymers on a soil-wheat (*Triticum aestivum* L) system in the field[J]. *Applied Soil Ecology*, 2014, 73(1): 58-63
- [14] Thombare N, Mishra S, Siddiqui M Z, Jha U, Singh D, Mahajan G R. Design and development of guar gum based novel, superabsorbent and moisture retaining hydrogels for agricultural applications[J]. *Carbohydrate Polymers*, 2018, 185: 169-178
- [15] Moghadam H R T. Super absorbent polymer mitigates deleterious effects of arsenic in wheat[J]. *Rhizosphere*, 2016, 3(2017): 40-43
- [16] 于明英, 晏清洪, 肖娟, 邱照宁, 董荣泽. 保水剂对基质育苗及沙培小油菜生长的影响[J]. *节水灌溉*, 2018(1): 30-32, 37
- Yu M Y, Yan Q H, Xiao J, Qiu Z N, Dong R Z. Effect of SAP on growing seedlings in substrate and growth of rape in sand[J]. *Water Saving Irrigation*, 2018(1): 30-32, 37 (in

- Chinese)
- [17] 蒋雅琴,李文嘉,康德贤,黎炎,吴永官,王益奎. 不同保水剂对果菜类蔬菜育苗的影响[J]. 中国蔬菜, 2014(6): 40-43
Jiang Y Q, Li W J, Kang D X, Li Y, Wu Y G, Wang Y K. Effects of different water retaining agents on fruit vegetable seedlings growth[J]. *China Vegetables*, 2014(6): 40-43 (in Chinese)
- [18] 李杨,王百田. 高吸水性树脂对沙质土壤物理性质和玉米生长的影响[J]. 农业机械学报, 2012, 43(1): 76-82
Li Y, Wang B T. Influence of superabsorbent polymers on sandy soil physical properties and corn growth [J]. *Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery*, 2012, 43(1): 76-82 (in Chinese)
- [19] Gao L J, Wang S Q, Zhao X F. Synthesis and characterization of agricultural controllable humic acid superabsorbent [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2013, 25: S69-S76
- [20] Mahida V P, Patel M P. Removal of heavy metal ions from aqueous solution by superabsorbent poly (NIPAAm/DAPB/AA) amphoteric nanohydrogel [J]. *Desalination and Water Treatment*, 2016, 57(29): 13733-13746
- [21] Mohammad N, Atassi Y, Tally M. Synthesis and swelling behavior of metal-chelating superabsorbent hydrogels based on sodium alginate-g-poly(AMPS-co-AA-co-AM) obtained under microwave irradiation[J]. *Polymer Bulletin*, 2017, 74(11): 4453-4481
- [22] Xiao X M, Yu L, Xie F W, Bao X Y, Liu H S, Ji Z L, Chen L. One-step method to prepare starch-based superabsorbent polymer for slow release of fertilizer[J]. *Chemical Engineering Journal*, 2017, 309: 607-616
- [23] Chen S L, Yang M, Ba C, Yu S S, Jiang Y F, Zou H T, Zhang Y L. Preparation and characterization of slow-release fertilizer encapsulated by biochar-based waterborne copolymers [J]. *Science of the Total Environment*, 2018, 615: 431-437
- [24] 周煜钧,敖礼林. 油菜的缺硼危害及硼肥的综合高效施用[J]. 农村实用技术, 2018(1): 37-37
Zhou Y J, Ao L L. Boron deficiency in rapeseed and comprehensive and high efficiency application of boron fertilizer[J]. *Journal of Rural Practical Technology*, 2018(1): 37-37 (in Chinese)
- [25] 闫伟. 缺硼对水培番茄生长及产量的影响[J]. 河北北方学院学报:自然科学版, 2015, 31(3): 18-23, 29
Yan W. Influences of nourishing solution with low boron on growth and yield of tomato [J]. *Journal of Hebei North University: Natural Science Edition*, 2015, 31(3): 18-23, 29 (in Chinese)

责任编辑: 杨爱东