

范如芹, 罗佳, 李赞, 等. 淀粉基高吸水树脂对栽培基质性能与节水量的影响[J]. 江苏农业科学, 2019, 47(15): 312–315.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2019.15.071

淀粉基高吸水树脂对栽培基质性能与节水量的影响

范如芹^{1,2}, 罗佳^{1,2}, 李赞², 卢信², 刘丽珠², 张振华²

(1. 农业农村部农业环境重点实验室, 北京 210014; 2. 江苏省农业科学院农业资源与环境研究所, 江苏南京 210014)

摘要:为研究淀粉基高吸水树脂(super absorbent polymer, SAP)对栽培基质性能的提升效果, 以农业废弃物原料栽培基质为研究对象, 研究不同 SAP 添加比例(0、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 g/L)对基质各项理化指标的影响, 并通过蔬菜栽培精细补水的方法对各处理的节水效果进行定量研究。结果发现, 随 SAP 添加比例的增加, 基质总孔隙度和通气孔隙度均整体呈现先增加后降低的趋势, 在 1.0 g/L 处理下达到最高值; 基质最大持水量则显著提高。在每天补水保持基质含水量一致的情况下, 0~1.0 g/L SAP 添加处理下所栽培蔬菜的株高、茎粗及生物量等指标没有显著差异, 但 SAP 添加量增加到 1.2 g/L 后各项指标开始下降, 单株需补水量随 SAP 添加比例的增加而迅速降低。结果说明, 该淀粉基高吸水树脂可用于改善基质性能, 在基质中 SAP 添加比例为 1.0 g/L 时不仅可有效提高基质持水、保水和孔隙性能, 而且可节约灌溉用水 30.94%, 在提高基质栽培质量、节约用水、降低浇灌频率和人工成本等方面均有重要潜力。

关键词:高吸水树脂; 无土栽培基质; 调理剂; 节水农业; 蔬菜

中图分类号: S317 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2019)15-0312-04

我国是水资源严重短缺的农业大国, 农业用水弥足珍贵。因此, 发展节水高效农业成为农业可持续发展的重要途径, 新型节水技术的研发则是重中之重。另外, 由于土壤栽培存在连作障碍和土壤次生盐渍化等缺点, 基质栽培将是设施农业的主要方向之一^[1-2]。基质栽培用水也是农业用水的重要组成部分。由于基质普遍存在保水能力远远低于土壤、水分管理繁琐等缺陷, 保水材料的应用至关重要。因此, 探讨保水剂对基质保水性等理化性能的影响及其作用机制并量化保水剂的保水功效, 对于提升栽培基质性能、促进设施农业发展和节约宝贵的农业用水等均具有重要意义。高吸水树脂(super absorbent polymer, SAP)是一种具有超强吸水 and 保水能力的新

型高分子材料, 被广泛应用于农林、建筑、环境保护及医药卫生等诸多领域^[3-4]。近年来 SAP 作为土壤保水剂被成功应用于荒漠化土壤修复和干旱区农业土壤节水^[5-7]。研究发现, 在基质水分耗竭条件下, SAP 可延缓黄瓜、番茄等植株的萎蔫发生时间, 并有效促进植株生长^[8-10]。但因 SAP 类型及性能的不同, 试验及生产中所需添加 SAP 的比例及效果差别较大。目前国内市场上 SAP 以聚丙烯酸钠为主, 它具有吸水速率高的优势, 但该类 SAP 存在反复吸水能力较低及耐盐性、凝胶强度不高等缺点^[11-12], 应用效果不佳。而淀粉类 SAP 具有来源丰富、价格低廉、容易降解、无公害且不易失水的特点, 但其使用周期长短报道不一, 且容易发霉变质。目前国内对淀粉类 SAP 的研究和应用仍不成熟, 关于 SAP 用于基质保水时的节水量和节水潜力研究尚鲜见报道; 同时, 基质与土壤在容重、孔隙度、水力学特性及养分释放等方面存在较大差异, 因此 SAP 应用于基质时的节水效果、对基质基本性状的影响以及对栽培作物有无负面作用等均有待深入研究。本试验拟以农业废弃物原料栽培基质为研究对象, 研究淀粉基高吸水树脂对基质保水性能和基质各项理化指标的影响, 并对其节水效果进行详细的量化研究, 以期优化基质性能、提

收稿日期: 2018-04-12

基金项目: 江苏省自然科学基金(编号: BK20161379); 江苏省农业科技自主创新资金[编号: CX(17)3019]。

作者简介: 范如芹(1984—), 女, 山东沂南人, 博士, 副研究员, 主要从事无土栽培基质配方研究。Tel: (025) 84390581; E-mail: fanruqin2007@126.com。

通信作者: 张振华, 博士, 研究员, 主要从事土壤改良与修复研究。E-mail: zhenhua70@hotmail.com。

组成和结构[J]. 生态学报, 2002, 22(2): 215–223.

[14] 湛江华, 柴伟纲, 孙梅梅, 等. 水稻生产农药使用现状调查[J]. 农药科学与管理, 2011, 32(4): 23–25.

[15] 刘颖. 我国农药使用现状、原因及对策研究[J]. 国土与自然资源研究, 2005(4): 50–51.

[16] 朱丽霞, 陈素香, 陈清森, 等. 敌百虫对南方农田土壤动物多样性的影响[J]. 土壤, 2011, 43(2): 264–269.

[17] 王振中, 邢协加. 甲胺磷农药污染对土壤动物影响的研究[J]. 环境科学, 1997, 18(6): 45–49.

[18] 邱咏梅, 郑荣泉, 李灿阳, 等. 百草清除草剂对农田生态系统土壤动物群落结构的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37(5): 976–980.

[19] 李淑梅, 盛东峰, 许俊丽. 苯磺隆除草剂对农田土壤动物影响的研究[J]. 土壤通报, 2008, 39(6): 1369–1371.

[20] 张淑花, 高梅香, 张雪萍, 等. 除草剂对农田中小型土壤动物群落结构的影响[J]. 河南农业科学, 2012, 41(10): 70–73, 99.

[21] 朱新玉. 农药污染对土壤动物群落的影响研究[J]. 科技信息, 2011(15): 788.

[22] Fountain M T, Brown V K, Gange A C, et al. The effects of the insecticide chlorpyrifos on spider and Collembola communities[J]. Pedobiologia, 2007, 51(2): 147–158.

[23] 程燕, 姜锦林, 卜元卿, 等. 毒死蜱对蚯蚓生长和繁殖的影响[J]. 农药学报, 2015, 17(3): 362–365.

高基质栽培水分利用率和评估节水农业的节水潜力提供理论和实践依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

SAP 由江苏省农业科学院农业设施与装备研究所提供,是以改性后的可溶性玉米淀粉为主要原料,丙烯酸和丙烯酸胺为接枝单体,采用水溶液聚合法制备的耐盐性钾型丙烯酸类高吸水树脂,外观为白色粉末,粒度为 60~100 目,容重为 0.6~0.8 g/cm³,吸去离子水量为 800~1 000 g/g,pH 值在 6.9~7.3 之间,电导率(EC)为 4.0~5.0 dS/m。所用基质配方为发酵床垫料堆肥+蛭石+珍珠岩+泥炭(体积比为 3:2:3:2),其总氮、总磷、总钾、速效氮、速效磷、速效钾含量分别为 24.20、8.62、10.10、1.94、2.41、5.99 g/kg。发酵床垫料堆肥来自江苏省农业科学院六合基地有机肥厂,由基于水稻秸秆的猪圈发酵床垫料圈内腐解 1 年及出圈后经过再次堆肥 1 个月制成。蛭石、珍珠岩、泥炭的最大持水量分别为 53.9%、31.4%、31.7%。

1.2 试验设计

向“1.1”节的栽培基质中添加不同比例的 SAP,添加量分别为 0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2 g/L,分别记为 S₂、S₄、S₆、S₈、S₁₀、S₁₂,以无 SAP 添加的基质为对照(S₀)。测定不同 SAP 添加比例下基质的基本理化性质,包括基质水分损失率、容重、总孔隙度、通气孔隙度、最大持水量、pH 值及电导率等,每个处理设 3 次重复。2015 年 5 月 6 日在江苏省农业科学院玻璃温室内进行蔬菜栽培试验。将不同处理基质装入苗盘进行蔬菜(泰国小叶蔬菜)育苗及栽培,穴孔体积为 8 cm×8 cm×15 cm,每个苗盘每穴播种 2 粒,待种子发芽并长至 4 叶期时进行间苗,每穴保留 1 株。通过称质量每天用滴管对苗盘进行补水,使基质含水量控制在基质最大持水量的 80%,并记录每次补水的量。每处理设 4 次重复,每个重复 8 穴。待蔬菜生长 30 d 后收获并测量其叶绿素含量、株高、茎粗、鲜质量及干质量等生长指标。

1.3 测定方法

将基质与去离子水按照质量比 1:5 的比例混合搅拌,静

置 8 d 后用 pH 计和电导率仪测定 pH 值和 EC 值;容重、最大持水量、总孔隙度及通气孔隙度等指标的测定均参照 Fan 等的方法^[13],具体为:取已知体积和质量的基质浸入去离子水中充分吸水后重力排水,此过程重复 3 次以确保基质吸水饱和,重力排水 30 min 后,再次测定其体积及质量,然后放入 105 ℃烘箱烘干 1 周,再次称质量。根据测得的质量及体积计算容重、最大持水量、总孔隙度及通气孔隙度^[14]。为研究 SAP 对基质失水特征的影响,取相同质量的各处理基质,加水至饱和,排除重力水后称质量,置于 40 ℃恒温烘箱脱水,分别于 4、8、12、16、24、32、40、48、56 h 时称质量,计算每次称质量时基质的含水量。基质水分特征曲线参考 Farrell 等的滤纸法^[14]进行绘制,即将基质在 105 ℃下烘干至恒质量,取 20 g 烘干样品加入去离子水,每个处理以饱和含水量的 5% 为梯度递增,直至含水样品质量达 200 g,即各处理含水量为饱和含水量的 5%~100%。将每个样品转移至玻璃瓶中,并在样品体积的 1/2 高度位置埋入滤纸(Whatman No. 42)以确保滤纸与基质直接接触。将玻璃瓶密封后置于恒温密闭箱体平衡 1 周后测定基质内滤纸的含水率(*w*)。每个样品相应的基膜吸力用以下公式计算得出,据此得出水分释放曲线。

$$\text{基膜吸力} = \exp(12.27 - 17.93w), w \leq 0.453 \text{ g/g}; \quad (1)$$

$$\text{基膜吸力} = \exp(5.55 - 3.11w), w > 0.453 \text{ g/g}. \quad (2)$$

1.4 数据统计与分析

采用 SPSS 12.0 软件 LSD 显著性差异检验对不同 SAP 添加比例下基质基本性状、补水量及蔬菜生长指标进行均值比较,采用 SigmaPlot 12.5 软件进行作图。

2 结果与分析

2.1 不同 SAP 添加比例对基质理化性质的影响

如表 1 所示,不同 SAP 添加比例下基质容重变化不明显;随 SAP 添加比例的增加,总孔隙度和通气孔隙度表现出先上升后下降的趋势,均在 S₁₀ 处理下达最大值,S₆、S₈、S₁₀ 处理间无显著差异;电导率呈现随 SAP 增加整体升高的趋势,但未达显著水平;SAP 添加比例较高时,速效磷含量明显降低;基质最大持水量随 SAP 添加量的增加而增加,S₁₂ 处理比对照提高 42.35%。

表 1 不同 SAP 添加比例下基质的理化性状

处理	容重 (g/cm ³)	总孔隙度 (%)	通气孔隙度 (%)	最大持水量 (%)	pH 值	电导率 (dS/m)	速效磷含量 (g/kg)	速效钾含量 (g/kg)
S ₀	0.24a	58.3c	26.2b	59.5e	6.9a	3.83a	8.59a	5.32a
S ₂	0.25a	61.4b	26.0b	62.6de	6.9a	3.83a	8.62a	5.97a
S ₄	0.24a	62.3b	27.7ab	65.0cd	6.9a	3.83a	8.31a	5.51a
S ₆	0.25a	65.0ab	27.9ab	69.2c	6.9a	3.84a	8.54a	5.64a
S ₈	0.24a	67.7a	30.4a	78.4b	6.9a	3.86a	8.00ab	5.83a
S ₁₀	0.24a	68.5a	31.0a	81.3ab	6.9a	3.87a	7.72b	6.04a
S ₁₂	0.25a	63.5b	30.6a	84.7a	6.9a	3.89a	6.45b	5.02a

注:同列数据后不同小写字母表示不同处理之间有显著差异($P < 0.05$)。下表同。

由图 1 可知,基质水分蒸发量表现出随 SAP 增加迅速降低的特点。未加 SAP 的基质(S₀ 处理)含水量 4 h 内降低 26.7 百分点,而 S₂、S₄、S₆、S₈、S₁₀、S₁₂ 处理仅分别降低 28.6、30.0、28.6、29.1、26.8 百分点。脱水至 56 h 时,S₂、S₄、S₆、S₈、S₁₀、S₁₂ 处理含水量分别是对照含水量的 1.4、1.8、2.3、3.0、

3.3、4.6 倍。说明添加 SAP 后基质水分蒸发率明显降低。

由基质水分特征曲线(图 2)可以看出,相同含水量条件下,基质 SAP 含量越高,所对应基膜吸力越大,说明被 SAP 所吸纳的水分有一部分作物利用率较低;同时,S₀、S₄、S₈、S₁₂ 处理基膜吸力为 100 kPa(植物水分利用临界值)时对应的基质

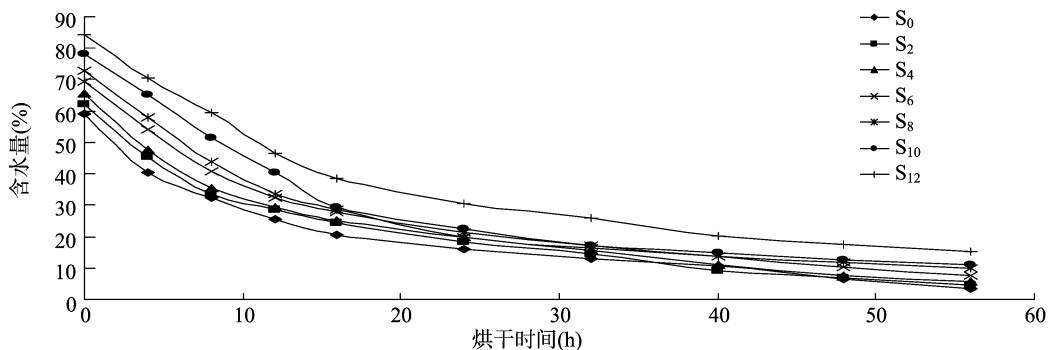


图1 不同 SAP 添加比例下基质水分蒸发率

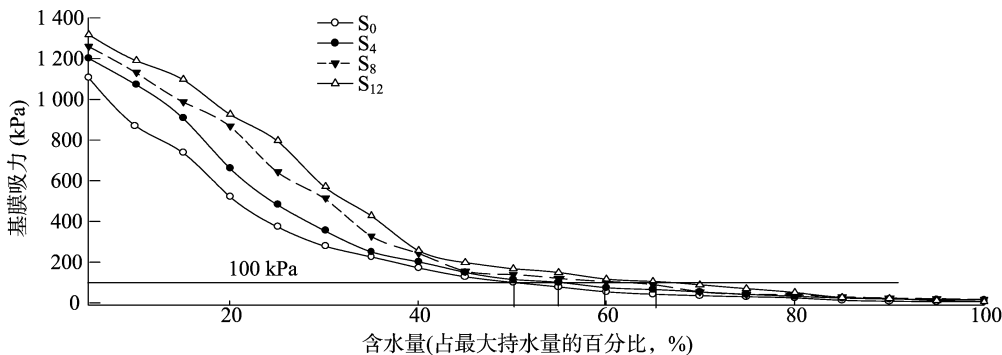


图2 不同 SAP 添加比例下基质水分特征曲线

含水量分别为 50%、55%、60%、65% 左右,说明当基质含水量达到此范围时,作物可利用性较差。

2.2 不同 SAP 添加比例下薤菜生长节水效果

在不同 SAP 添加比例的基质中进行薤菜种植,每天加水使得所有处理的基质含水量保持在基质田间持水量的 80%,各处理所需补充水分随 SAP 添加量的增加而减少(表 2),其中 S₀ 处理比 S₁₂ 处理每株菜需水量多 202 g,根据基质容重计算可知,1 t 基质多需水 809 kg。SAP 添加量从 0~1.0 g/L 范围内,小青菜的各项生长指标无显著差异,其中添加量为 0.8 g/L 时,小青菜长势最佳,可节水 21.68%,但在更高比例(高于 1.0 g/L)添加量下生长状况较差。

由图 3 可知,SAP 添加量与基质最大持水量呈极显著正相关关系, $y = 59.60 + 10.70x + 9.03x^2$ 。式中: x 为 SAP 添加比例, g/L; y 为最大持水量, %。每株薤菜的需水量则与

表 2 不同 SAP 添加比例下薤菜生长状况及所需水量

SAP 添加比例 (g/L)	单株浇水量 (g)	株高 (mm)	茎粗 (mm)	单株产量 (g)
0	572a	308a	3.67ab	17.7a
0.2	548a	315a	3.73a	17.9a
0.4	510ab	322a	3.81a	18.1a
0.6	478bc	310a	3.81a	17.9a
0.8	448cd	318a	4.01a	19.0a
1.0	395de	311a	3.79a	18.5a
1.2	370e	278b	3.51b	16.0b

SAP 添加量呈极显著负相关关系, $y = 574.5 - 14.7x - 21.9x^2$ 。式中: x 为 SAP 添加比例, g/L; y 为每株作物需水量, %。

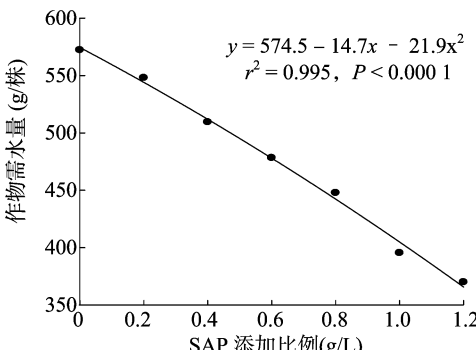
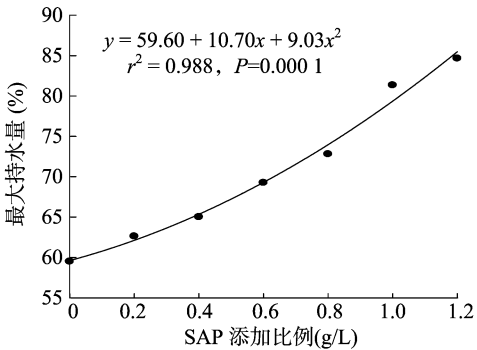


图3 SAP 添加量与基质最大持水量及与每株作物需水量的相关关系

3 讨论

3.1 SAP 添加对基质理化性质的影响

基质最大持水量随 SAP 添加量的增加而提高,说明该淀粉基 SAP 对基质持水性能有很好地促进作用,且添加 SAP 后基质最大持水量符合理想基质的持水量标准(60% ~ 100%)^[15]。随 SAP 添加比例的增加,总孔隙度和通气孔隙度整体表现出先上升后下降的趋势,说明并非 SAP 添加比例越高越有利于基质性能的提升。SAP 添加比例较高时,速效磷含量明显降低,这可能与 SAP 较强的吸附能力有关,说明该 SAP 可能有一定的肥料缓释效果。本试验结果显示,SAP 的添加有效地降低了水分的蒸发。上述结果与 Farrell 等报道的 SAP 可有效增加基质含水量、延长植株萎蔫发生时间等结果^[14]一致。Yu 等也报道了 SAP 对土壤水分损失的有效降低作用^[16];Narjary 等研究 SAP 对不同土壤深度含水量的影响^[17],也发现了一致的结果。在实际生产应用中,由于基质普遍具有比土壤更低的水分涵养能力,SAP 对于保持基质水分具有更为重要的意义,不仅可以延缓植株萎蔫发生,提高幼苗成活率、促进植株生长,还可以大大降低基质栽培的浇水频率,降低人工成本。

虽然 SAP 添加后基质水分损失明显降低,但是 SAP 分子所吸纳的水分是否可以全部释放被植株利用仍有待探索。植物可利用水分的最大吸力值为 100 kPa,而本试验结果表明,各处理基膜吸力为 100 kPa(植物水分利用临界值)时对应的基质含水量仅为最大持水量的 50% ~ 65%,说明当基质含水量达到此范围时,作物可利用性较差。也就是说,SAP 添加后虽然基质含水量明显增大,但基质所含水分并非均能被植物利用,在评估保水材料节水效果时应考虑在内。如何促进 SAP 吸纳水分的释放将是今后 SAP 研制工艺的一个重要研究方向。

3.2 SAP 添加下蔬菜生长节水效果

在通过每天补水保证所有处理基质含水量一致(田间持水量的 80%)的情况下,随 SAP 添加量的增加,需要补充的水分逐渐降低,且在 0 ~ 1.0 g/L 的添加范围内蔬菜生长旺盛,处理间无差异,验证了 SAP 添加有助于基质栽培节水;在更高比例(高于 1.0 g/L)SAP 添加量下蔬菜各项生长指标开始下降,说明 1.2 g/L 的 SAP 添加量虽然省水,但因孔隙度过低等原因不利于作物生长。而在 1.0 g/L 的 SAP 添加量下蔬菜长势最佳且可有效节水。上述结果表明,淀粉基高吸水树脂具有有效的基质水分保持作用,合适的添加比例可有效解决基质水分保蓄能力差、易干裂结块等缺陷。

4 结论

淀粉基高吸水树脂(SAP)添加可有效提高基质最大持水量,二者存在极显著正相关关系, $y = 59.60 + 10.70x + 9.03x^2$ 。基质水分蒸发率随 SAP 添加量的增加而明显减少。在一定添加比例范围内添加 SAP 可以提高基质孔隙度,但过高的添加

比例(>1.0 g/L)可降低基质孔隙度,且不利于作物生长。随 SAP 添加量(0 ~ 1.2 g/L)的增加,每株蔬菜的耗水量逐渐降低,二者存在极显著负相关关系, $y = 574.5 - 14.7x - 21.9x^2$ 。综上,淀粉基高吸水树脂可被用于废弃物栽培基质性能调控,添加比例为 1.0 g/L 时不仅可有效提高基质持水、保水和孔隙性能,而且可节约灌溉用水 30.94%。

参考文献:

- [1] 柴喜荣,程智慧,孟焕文,等. 追肥对农业废弃物有机基质栽培番茄生长发育和养分吸收的影响[J]. 南京农业大学学报,2013,36(2):20-24.
- [2] 范如芹,罗佳,高岩,等. 农业废弃物的基质化利用研究进展[J]. 江苏农业学报,2014,30(2):442-448.
- [3] 邹新禧. 超强吸水剂[M]. 北京:化学工业出版社,1991.
- [4] 马先伟,张家科,刘剑辉. 高性能水泥基材料内养护剂用高吸水树脂的研究进展[J]. 硅酸盐学报,2015,43(8):1099-1110.
- [5] 宋宝兴,刘建睿,郭天文,等. 不同分散相结构吸水材料对土壤水分富集效应的研究[J]. 干旱地区农业研究,2007,25(4):100-104.
- [6] 王勇,小岛纪德. 改良荒漠化土壤的多功能高分子复合材料的制备及其应用[J]. 中国水土保持,2008(8):44-47,60.
- [7] 谢建军,韩心强,何新建. PAAM 高吸水树脂的土壤保水性能[J]. 材料工程,2010(3):84-88.
- [8] 肖海华,张毅功,方正,等. 不同保水剂对基质保水性和黄瓜幼苗生长的影响[J]. 河北农业大学学报,2002,25(3):45-48,53.
- [9] 李永胜,杜建军,谢勇,等. 保水剂对基质持水保肥力及番茄生长的影响[J]. 长江蔬菜,2006,27(8):57-58.
- [10] 邓琦子,汪天. 高吸水性树脂在无土栽培中的应用与展望[J]. 中国农学通报,2013,29(13):90-94.
- [11] 陈振斌,马应霞,张安杰,等. 聚丙烯酸钠高吸水性树脂的改性研究进展[J]. 应用化工,2009,38(11):1656-1661.
- [12] 徐磊,唐玉邦,虞利俊,等. 高吸水树脂的性能及农业应用展望[J]. 江苏农业科学,2014,42(4):16-17.
- [13] Fan R Q, Luo J, Yan S H, et al. Effects of biochar and super absorbent polymer on substrate properties and water spinach growth[J]. Pedosphere,2015,25(5):737-748.
- [14] Farrell C, Ang X Q, Rayner J P. Water-retention additives increase plant available water in green roof substrates[J]. Ecological Engineering,2013,52:112-118.
- [15] Abad M, Noguera P, Burés S. National inventory of organic wastes for use as growing media for ornamental potted plant production: case study in Spain[J]. Bioresource Technology,2001,77(2):197-200.
- [16] Yu J, Shi J G, Dang P F, et al. Soil and polymer properties affecting water retention by super absorbent polymers under drying conditions[J]. Soil Science Society of America Journal,2012,76(5):1758-1767.
- [17] Narjary B, Aggarwal P, Singh A, et al. Water availability in different soils in relation to hydrogel application[J]. Geoderma,2012,187/188:94-101.