

保水剂施用方式对土壤水分及向日葵生长的影响

杜社妮^{1,2}, 耿桂俊², 白岗栓^{1,2}, 于健³

(1. 西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 内蒙古自治区水利科学研究院, 内蒙古 呼和浩特 010020)

摘要: 为鉴别 BJ210-L 保水剂不同施用方式对土壤水分和向日葵生长的影响效果, 在内蒙古河套灌区以不施为对照, 开展了沟施、混施和撒施 BJ210-L 保水剂的田间试验。结果表明, 沟施、混施和撒施均提高了 0-80 cm 土层土壤水分, 特别是在向日葵开花期分别提高了 10.71%, 8.24%, 6.63%。不同施用方式均促进了向日葵根系向深层土壤分布, 促进了茎秆增高和增粗, 提高了根、茎、叶、花盘生物量。沟施、混施、撒施籽粒产量分别较对照提高了 26.80%, 24.52%, 10.86%, 水分利用效率分别提高了 49.29%, 46.94%, 25.06%, 水分产出率分别提高了 33.02%, 29.79%, 13.11%。河套灌区向日葵生产中 BJ210-L 保水剂应以沟施或混施为主。

关键词: BJ210-L 保水剂; 施用方式; 土壤水分; 向日葵; 生长状况

中图分类号: S152.7; S565.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-2242(2011)04-0139-05

Effects of Super Absorbent with Different Application Methods on Soil Moisture and Sunflower Growth

DU She-ni^{1,2}, GENG Gui-jun², BAI Gang-shuan^{1,2}, YU Jian³

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources,

Yangling, Shaanxi 712100; 3. Institute of Inner Mongolia Hydraulic Research, Huhhot, Neimonggu 010020)

Abstract: In order to determine the effects of BJ210-L super absorbent with various application methods, field experiments were conducted to investigate their effects on soil moisture and sunflower growth in Hetao irrigation district, Inner Mongolia. BJ210-L super absorbent was applied with three treatments of furrowing, mixing and broadcasting. The results showed that three application methods increased soil moisture against the control (no application BJ210-L super absorbent), particularly there were significant effects during sunflower florescence stage, and soil moisture in furrowing, mixing and broadcasting treatments increased by 10.71%, 8.24%, and 6.63% in 0-80 cm soil layer compared to the control. Three application methods improved sunflower roots growth to deeper soil, improved sunflower stem higher and thicker, and increased biomass of roots, stem, leaves, and head against the control. The yields in furrowing, mixing and broadcasting treatments increased 26.80%, 24.52%, and 10.86%, water use efficiency increased 49.29%, 46.94%, and 25.06%, water output rate increased 33.02%, 29.79%, and 13.11% against the control. Optimum application method of BJ210-L super absorbent should be furrowing or mixing in Hetao irrigation district in sunflower production.

Key words: BJ210-L super absorbent; application methods; soil moisture; sunflower; growth status

内蒙古河套灌区地处干旱、半干旱、半荒漠草原带, 为无灌溉便无农业的区域。向日葵抗旱耐盐, 生长期短, 产量高, 经济效益好, 现已成为河套灌区的主要经济作物。保水剂(super absorbent 或 super absorbent polymer, SAP)作为一种高分子化合物, 具有很强的吸水、保水能力及反复吸水的功能, 吸持后的水分 85%~95% 可缓慢释放供作物利用^[1-3]。保水剂能提高土壤持水性, 改善土壤结构, 调节土壤水、肥、气、热状况, 在节水农业和生态环境恢复中得到了广泛应用^[4-8]。有关向日葵耐盐、地面覆盖、水肥耦合等方面的研究较多^[9-14], 但有关保水剂在向日葵生产中的应用研究较少。为了促进向日葵产业的持续发展和保水剂的应用与推广, 在

收稿日期: 2011-04-22

基金项目: 国家“十一五”科技攻关项目“内蒙古河套半干旱区粮食作物综合节水技术与示范”(2007BAD88B04); 水利部科技推广项目(TG1144)

作者简介: 杜社妮(1966-), 女, 陕西杨凌人, 助理研究员, 主要从事设施栽培及保水剂应用方面的研究。E-mail: sнду@nwsuaf.edu.cn

河套灌区以向日葵为试材,开展了保水剂不同施用方式对土壤水分和向日葵生长的影响研究。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

试验地位于河套灌区西部的磴口县坝楞村,海拔 1 048.7 m,地处干旱、半荒漠草原带,为中温带大陆性季风气候,年均气温 7.6 °C,日照时数 3 209.5 h,作物生长期为 5-9 月,光合有效辐射 1.68×10^5 J/cm²,年降雨量 142.7 mm,年均蒸发量 2 381.8 mm,无霜期 136~144 d,年均风速 3.0 m/s。试验地土壤为灌淤土,灌淤层达 1.0 m 以上,质地为壤土,耕层土壤有机质含量约 10.0 g/kg,田间持水量 23.23%,凋萎系数 11.07%,0-80 cm 土层土壤体积质量较为一致,平均为 1.48 g/cm³,地下水位为 3.0 m 以下。

1.2 试验材料与设计

试验用 BJ210F-L 保水剂为白色颗粒,粒径 1.6~4.0 mm,三维立体网状结构,为脱钠处理的聚丙烯酸钠高吸水树脂,由北京汉力森公司提供。参照吴娜等^[4]、黄占斌等^[5]、杜社妮等^[7-8]的试验结果,BJ210F-L 保水剂的施用量为 45 kg/hm²。供试向日葵品种为 DK119,5 月 30 日种植。

以不施 BJ210F-L 保水剂为对照,采用沟施、混施、撒施。对照是在向日葵种植前开深 10 cm、宽 15 cm 的小沟,将化肥均匀撒施在沟内,耧平小沟,然后种植向日葵。沟施是在施肥时将 BJ210F-L 保水剂均匀撒施在沟内;混施是在开沟施肥前将 BJ210F-L 保水剂均匀撒施在种植行上(宽 15 cm);撒施是在向日葵种植后将 BJ210F-L 保水剂撒施在种植行上(宽 15 cm)。

1.3 农艺措施

供试向日葵采用宽窄行种植,宽行行距 90 cm,窄行行距 40 cm,株距 40 cm。密度 38 460 株/hm²。播种时施磷酸二铵 375.0 kg/hm²,氯化钾 37.5 kg/hm²。向日葵苗期(6 月 23 日、7 月 7 日)灌水 2 次,开花期(8 月 4 日)灌溉 1 次,第 1 次和第 3 次灌溉量均为 90 mm,第 2 次为 75 mm,其他时期不再灌水。向日葵整个生育期内不同处理的灌溉量、灌溉次数、施肥、追肥、除草等管理措施相同。播种时耕层(0-20 cm 土层)土壤质量含水率 19.53%(水层厚度 57.80 mm);0-80 cm 土层土壤质量含水率 23.61%(水层厚度 279.59 mm)。

1.4 测定项目与数据处理

播种前用棋盘法选择 5 个样点,用土钻每间隔 10 cm 土层采样 1 次,烘干法测定 0-80 cm 土层土壤水分。分别于向日葵苗期(6 月 12 日)、现蕾期(7 月 16 日)、开花期(7 月 30 日)、灌浆期(9 月 1 日)、成熟期(9 月 24 日)测定不同处理 0-80 cm 土层土壤质量含水率(%),每个小区测定 3 处。根据不同土层的土壤体积质量、土层厚度和土壤质量含水率换算出不同土层的土壤水分,即水层厚度(mm)^[7-8]。分别于向日葵苗期、现蕾期、开花期、灌浆期、成熟期常规方法测定不同处理的茎秆高度、茎秆直径、根系深度、花盘直径和茎秆、叶片、根系、花盘生物量及籽粒产量、干粒质量。小区旁设有农田小气候监测仪,测定向日葵生长期间的降水量。

试验地平整,土层深厚及土壤质地均一,地下水位较深,试验地不产生渗漏、无地下水补给和水分的水平运动。根据不同处理的生物量、籽粒产量和生长期间的有效降水量(一次或 24 h 降水量 ≥ 5.0 mm)、灌溉量和土壤水分变化量,计算不同处理的田间耗水量、水分利用效率、水分生产率^[7-8]。

试验数据采用 Excel 2003 制作图表,用 SPSS 10.0 软件进行单因素方差分析;如果差异显著,则采用 Duncan's 检验进行多重比较,检验处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 对土壤水分的影响

受灌水、降水、向日葵生长及土壤表面蒸发等的影响,向日葵生长发育期间的土壤水分表现为苗期最高,依次为现蕾期、成熟期、灌浆期,开花期最低(图 1)。播种到苗期有效降水量为 20.8 mm。苗期 0-80 cm 土层土壤水含量沟施、混施、撒施分别为 289.36, 288.03, 279.34 mm,沟施显著高于($P < 0.05$)对照(277.54 mm)。苗期到现蕾期有效降水 5.2 mm,灌水 165 mm。

现蕾期 0-80 cm 土层土壤水含量沟施、混施、撒施分别为 237.52, 233.38, 230.76 mm,沟施显著高于对照(225.21 mm)。现蕾期到开花期为向日葵为水分敏感期。现蕾期到开花期无有效降水。受灌水体制及菌核病防治等的影响,开花期没有灌水。开花期 0-80 cm 土层土壤水含量沟施、混施、撒施分别为 161.07, 157.48,

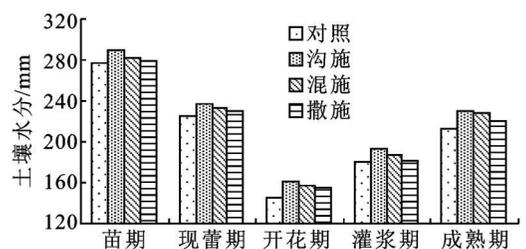


图 1 不同处理在向日葵不同生长期 0-80 cm 土层土壤水分

155.13 mm, 沟施、混施、撒施分别较对照(145.49 mm) 提高了 10.71%, 8.24%, 6.63%, 沟施极显著高于对照 ($P < 0.10$), 混施、撒施显著高于对照。

开花期到灌浆期无有效降水, 灌水 90 mm(8 月 4 日)。灌浆期 0–80 cm 土层的土壤水含量沟施、混施、撒施分别为 193.49, 187.21, 181.55 mm, 沟施显著高于对照(180.51 mm)。灌浆期到成熟期降水较多, 有效降水量为 37.2 mm。成熟期 0–80 cm 土层的土壤水含量沟施、混施、撒施分别为 230.93, 228.51, 220.41 mm, 沟施、混施显著高于对照(212.93 mm)。

2.2 对向日葵生长的影响

2.2.1 对向日葵形态指标的影响

向日葵形态指标包括茎秆高度、茎秆粗度、根系深度及花盘直径(表 1)。随着向日葵的生长, 茎秆高度在开花期达到最高值。开花后随着花盘的不断增大, 茎秆逐渐弯曲, 茎秆高度则缓慢降低。苗期不同处理的茎秆高度基本相同, 无显著性差异。显蕾期为茎秆快速生长期, 沟施、混施的极显著高于撒施, 撒施极显著高于对照。开花期、灌浆期、成熟期沟施、混施的茎秆高度显著高于对照, 不同施用方式间无显著性差异。

向日葵茎秆直径从现蕾期到开花期增长较多, 开花期到灌浆期增长缓慢, 灌浆期达最大, 成熟期略有减小。苗期不同处理茎秆直径基本为同一水平, 无显著差异。现蕾期沟施、混施的极显著大于对照, 显著大于撒施; 撒施显著大于对照。开花期、灌浆期、成熟期沟施、混施、撒施的均极显著大于对照, 不同施用方式中混施的较粗, 撒施的较细, 但无显著差异。

向日葵从苗期到现蕾期根系纵深生长发育较快, 开花后较慢, 灌浆期达到最深值。不同处理苗期根系分布深度为沟施 > 混施 > 对照 > 撒施, 沟施极显著深于混施, 混施极显著深于对照, 对照与撒施处于同一水平。显蕾期、开花期、灌浆期、成熟期为沟施 > 混施 > 撒施 > 对照, 沟施、混施显著深于撒施和对照, 沟施与混施无显著差异, 撒施与对照无显著差异。

对照的花盘较不同施用方式早出现 1~2 d。现蕾期对照的花盘直径极显著大于其他处理, 撒施极显著大于混施和沟施。开花期、灌浆期、成熟期的花盘直径为沟施 > 混施 > 撒施 > 对照, 沟施、混施显著大于撒施及对照。

2.2.2 对向日葵生物量及产量的影响

向日葵生物量主要测定了茎秆、叶片(包含叶柄)、根系、花盘及花托、籽粒、干粒质量(表 2)。茎秆生物量在灌浆期达到最大。苗期不同处理的茎秆生物量无显著差异。现蕾期沟施、混施的显著高于撒施及对照。开花期、灌浆期、成熟期为沟施 > 混施 > 撒施 > 对照, 沟施、混施极显著大于撒施, 撒施极显著大于对照。

叶片生物量在灌浆期达到最大。苗期不同处理的叶片生物量无显著差异。现蕾期沟施、混施显著高于撒施, 极显著高于对照, 撒施显著高于对照。开花期不同施用方式均极显著高于对照, 且沟施、混施显著高于撒施。灌浆期沟施、混施极显著高于对照, 撒施显著高于对照。成熟期不同施用方式均极显著高于对照, 且沟施、混施显著高于撒施。

根系生物量在灌浆期达到最大值。苗期不同处理的根系生物量无显著差异。现蕾期、开花期、灌浆期和成熟期沟施、混施极显著高于撒施, 撒施极显著高于对照。

花盘生物量在成熟期达到最大值。现蕾期为对照 > 撒施 > 混施 > 沟施, 相互之间存在着极显著差异。开花期、灌浆期、成熟期为沟施 > 混施 > 撒施 > 对照, 沟施、混施极显著大于撒施, 撒施极显著大于对照。花托生物量为灌浆期 > 成熟期, 沟施 > 混施 > 撒施 > 对照, 沟施、混施极显著大于撒施, 撒施极显著大于对照。

籽粒生物量为成熟期 > 灌浆期, 沟施 > 混施 > 撒施 > 对照, 灌浆期沟施、混施、撒施较对照提高了 25.40%, 24.75%, 9.66%, 成熟期较对照提高了 26.80%, 24.52%, 10.86%, 沟施、混施极显著大于撒施, 撒施极显著大于对照。干粒质量为沟施 > 混施 > 撒施 > 对照, 不同施用方式均极显著高于对照, 但相互之间无显著差异。

表 1 不同处理对向日葵形态指标的影响

生长时期	处理	茎秆	茎秆	根系	花盘
		高度/cm	直径/cm	深度/cm	直径/cm
苗期	对照	13.1a	0.53a	12.4cC	
	沟施	13.3a	0.53a	17.8aA	
	混施	13.4a	0.54a	15.6bB	
	撒施	13.1a	0.53a	12.1cC	
现蕾期	对照	46.3C	1.51cB	21.6b	3.24aA
	沟施	58.2A	1.71aA	24.5a	1.58cC
	混施	57.6A	1.73aA	23.4a	1.68cC
	撒施	52.0B	1.59bAB	22.0b	2.24bB
开花期	对照	231.0b	2.43bB	23.6b	15.5b
	沟施	249.0a	2.88aA	27.2a	17.1a
	混施	246.0a	2.92aA	26.5a	16.8a
	撒施	241.0ab	2.79aA	24.1b	15.8b
灌浆期	对照	223.5b	2.48bB	26.5b	22.1b
	沟施	239.4a	2.93aA	28.9a	24.4a
	混施	236.8a	2.95aA	28.6a	24.2a
	撒施	232.3ab	2.84aA	27.0b	22.6b
成熟期	对照	201.0b	2.78bB	26.3b	22.3b
	沟施	216.0a	2.90aA	28.6a	24.7a
	混施	214.0a	2.93aA	28.4a	24.5a
	撒施	208.0ab	2.81aA	26.8b	22.5b

注: 表中同一列数据小写字母表示差异显著水平达 0.05; 大写字母表示差异显著水平达 0.10。下同。

2.3 对水分利用效率的影响

河套灌区降水量小, 播种到收获共降水 69.6 mm, 其中有效降水 63.2 mm, 主要集中在出苗期及灌浆到收获期, 显蕾期、花期降水较少。向日葵生长期间灌水量为 255.0 mm。播种到收获不同处理的耗水量为对照>撒施>混施>沟施, 但无显著性差异。水分利用效率沟施、混施、撒施分别较对照提高了 49.29%、46.94%、25.06%, 水分产出率分别提高了 33.02%、29.79%、13.11%, 灌溉水产出率分别提高了 26.77%、24.50%、10.87%, 沟施、混施极显著高于撒施, 撒施极显著高于对照(表 3)。

表 2 不同处理对向日葵生物量及产量的影响

生长时期	处理	茎秆生物量/ (g·株 ⁻¹)	叶片生物量/ (g·株 ⁻¹)	根系生物量/ (g·株 ⁻¹)	花盘生物量/(g·株 ⁻¹)			千粒质量/ g
					花盘	花托	籽粒	
苗期	对照	2.17a	2.68a	1.14a				
	沟施	2.21a	2.70a	1.19a				
	混施	2.21a	2.72a	1.21a				
	撒施	2.18a	2.69a	1.17a				
现蕾期	对照	4.19b	10.21cB	2.79cC	2.56aA			
	沟施	4.62a	11.89aA	3.65aA	1.24dD			
	混施	4.63a	11.87aA	3.61aA	1.46cC			
	撒施	4.21b	10.83bAB	3.24bB	1.85bB			
开花期	对照	72.05cC	42.28cB	21.93cC	34.35cC			
	沟施	138.00aA	56.24aA	32.74aA	58.14aA			
	混施	137.18aA	55.78aA	31.65aA	56.79aA			
	撒施	121.7bB	51.96bA	27.26bB	41.62bB			
灌浆期	对照	141.61cC	72.60bB	41.23cC	204.25cC	98.56cC	105.69cC	
	沟施	203.82aA	84.62aA	54.56aA	259.08aA	126.54aA	132.54aA	
	混施	198.32aA	82.98aA	52.94aA	256.23aA	124.38aA	131.85aA	
	撒施	179.56bB	79.81aAB	47.46bB	228.14bB	112.24bB	115.90bB	
成熟期	对照	114.78cC	50.43cB	35.34cC	208.99cC	60.16cC	148.83cC	137.76bB
	沟施	185.25aA	77.32aA	48.10aA	269.85aA	81.13aA	188.72aA	147.98aA
	混施	184.01aA	76.36aA	46.62aA	267.10aA	81.77aA	185.33aA	147.64aA
	撒施	153.61bB	69.76bA	40.48bB	235.43bB	70.43bB	165.00bB	145.56aA

表 3 不同处理的耗水量及水分利用效率

处 理	播种前土 壤水分/mm	收获期土 壤水分/mm	有效降 水量/mm	灌水量/ mm	耗水量/ mm	生物量/ (kg·hm ⁻²)	产量/ (kg·hm ⁻²)	水分利用效率/ (kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)	水分产出率/ (kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)	灌溉水产出率/ (kg·mm ⁻¹ ·hm ⁻²)
对照	279.59	212.93b	63.2	255.00	384.86a	14391.73cC	5724.00cC	37.39(0.00%)cC	14.87(0.00%)cC	22.45(0.00%)cC
沟施	279.59	230.93a	63.2	255.00	366.86a	20476.87aA	7258.17aA	55.82(49.29%)aA	19.78(33.02%)aA	28.46(26.77%)aA
混施	279.59	228.51a	63.2	255.00	369.28a	20286.50aA	7127.79aA	54.94(46.94%)aA	19.30(29.79%)aA	27.95(24.50%)aA
撒施	279.59	220.41ab	63.2	255.00	377.38a	17645.45bB	6345.90bB	46.76(25.06%)bB	16.82(13.11%)bB	24.89(10.87%)bB

注: () 内数据为提高百分率。

3 讨论

BJ210F-L 保水剂为颗粒状, 吸水膨胀后粒径可达 3.0~4.0 cm。BJ210F-L 保水剂撒施于地表, 吸水后大面积暴露于大气中, 而河套灌区地处干旱、半荒漠草原带, 降水量小而蒸发量大, 吸收的水分易散失到大气中, 对土壤水分贡献较少。BJ210F-L 保水剂混施于土壤, 吸水后随着水分的缓慢释放进行收缩, 膨胀-收缩会形成较大的土壤空隙, 有的空隙直接与大气相通, 促进了土壤与大气之间的水分交换, 土壤水分易散失。沟施的 BJ210F-L 保水剂在膨胀-收缩过程中也会形成较大的空隙, 但该空隙与地表有土层间隔, 吸收、保持的水分与大气交换较弱, 因而可保持较高的水分。沟施保持较多的土壤水分, 与杜社妮等^[8]在黄土丘陵沟壑区的研究结果相一致。

向日葵虽为耐旱作物, 但显蕾期、开花期、灌浆期较高的土壤水分仍是高产的关键因素。受灌水体制及降水、菌核病防治等的影响, 河套灌区向日葵现蕾后到灌浆期土壤水分较低, 特别是开花期达到最低值, 对授粉受精、籽粒膨大影响较大。现蕾到灌浆期不同施用方式的土壤水分均高于对照, 特别是开花期沟施极显著高于对照, 混施、撒施显著高于对照, 为向日葵丰产提供了相对良好的土壤水分环境, 因而向日葵的生长发育、籽粒产

量、千粒质量等较对照显著提高。不同施用方式的耗水量及灌水量与对照无显著差异,但其生物量、籽粒产量极显著提高,因而其水分利用效率、水分产出率、灌溉水产出率极显著提高。

4 结论

(1) BJ210F-L 保水剂不同施用方式均可提高土壤水分,特别是在开花期 0-80 cm 土层土壤水分沟施、混施、撒施分别较对照提高了 10.71%, 8.24%, 6.63%。

(2) BJ210F-L 保水剂加深了向日葵根系的纵向分布,提高了茎秆高度,增大了茎秆和花盘直径,增加了根系、茎秆、叶片和花盘生物量。沟施、混施、撒施的籽粒产量分别较对照提高了 26.80%, 24.52%, 10.86%。

(3) 沟施、混施、撒施的水分利用效率分别较对照提高了 49.29%, 46.94%, 25.06%, 水分产出率分别提高了 33.02%, 29.79%, 13.11%, 灌溉水产出率分别提高了 26.77%, 24.50%, 10.87%。

河套灌区向日葵生产中沟施和混施 BJ210F-L 保水剂,可显著促进向日葵生长发育,提高籽粒产量,提高水分利用效率和水分产出率。

参考文献:

- [1] 姚建武,王艳红,唐明灯,等.施用保水剂对旱地赤红壤持水能力及氮肥淋失影响[J].水土保持学报,2010,24(5):191-194.
- [2] 白文波,王春艳,李茂松,等.不同灌溉条件下保水剂对新疆棉花生长及产量的影响[J].农业工程学报,2010,26(10):69-76.
- [3] Lentz R D, Shainberg I, Sojka R E, et al. Preventing irrigation furrow erosion with small application of polymers[J]. Soil Sci. Soc. Am. J., 1992, 56: 1926-1932.
- [4] 吴娜,赵宝平,曾昭海,等.两种灌溉方式下保水剂用量对裸燕麦产量和品质的影响[J].作物学报,2009,35(8):1552-1557.
- [5] 黄占斌,张玲春,董莉,等.不同类型保水剂性能及其对玉米生长效应的比较[J].水土保持学报,2007,21(1):140-143,163.
- [6] Woodhouse J, Johnson M S. Effect of super absorbent polymers on survival and growth of crop seedling[J]. Agricultural Water Management, 1991, 20(1): 63-70.
- [7] 杜社妮,白岗栓,赵世伟,等.沃特和 PAM 保水剂对土壤水分及马铃薯生长的影响[J].农业工程学报,2007,23(8):72-79.
- [8] 杜社妮,白岗栓,赵世伟,等.沃特和 PAM 施用方式对土壤水分及玉米生长的影响[J].农业工程学报,2008,24(11):30-35.
- [9] 毕远杰,王全九,雪静.覆盖及水质对土壤盐渍化状况及油菜产量的影响[J].农业工程学报,2010,26(增刊1):83-89.
- [10] 石德成,盛艳敏,赵可夫.复杂盐碱条件对向日葵胁迫作用主导因素的实验确定[J].作物学报,2002,28(4):461-467.
- [11] 孔东,史海滨,霍再林,等.河套灌区不同盐分含量土壤对向日葵生长的影响[J].沈阳农业大学学报,2004,35(5-6):414-416.
- [12] 高义民,李立科.留茬秸秆覆盖对旱地向日葵生长发育的影响[J].中国油料作物学报,1998,20(2):55-58.
- [13] 王金满,杨培岭,张建国,等.脱硫石膏改良碱化土壤过程中的向日葵苗期盐响应研究[J].农业工程学报,2005,21(9):33-37.
- [14] 薛铸,史海滨,郭云,等.盐渍化土壤水肥耦合对向日葵苗期生长影响的试验[J].农业工程学报,2007,23(3):91-94.

上接第 138 页

参考文献:

- [1] 范振山,张彦,杨群发,等.生态型沼液(渣)加工利用技术与设备研究[J].中国沼气,2006,24(1):24-26.
- [2] 王惠霞,张坐省.沼液中的化学物质及其在农业生产上的应用[J].陕西农业科学,2006(3):89-91.
- [3] 张媛,洪坚平,王伟,等.沼液对石灰性土壤速效养分含量的影响[J].中国沼气,2008,26(2):14-16.
- [4] 钱靖华,林聪,王金花,等.沼液对苹果品质及土壤肥效的影响[J].可再生能源,2005(4):34-36.
- [5] 尹芳,张无敌,宋洪川,等.沼液对某些植物病原菌抑制作用的研究[J].可再生能源,2005(2):9-11,36.
- [6] 余东波,胡向军,谢建,等.沼气发酵残留物减少蔬菜硝酸盐积累的研究与应用[J].云南师范大学学报:自然科学版,2005,25(1):11-13.
- [7] 徐卫红,王正银,王旗,等.沼气发酵残留物对蔬菜产量及品质影响的研究进展[J].中国沼气,2005,23(2):27-29.
- [8] 赵凤莲,孙钦平,李吉进,等.不同沼肥对油菜产量、品质及氮素利用效率的影响[J].水土保持学报,2010,24(3):127-130.
- [9] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科学出版社,1998.
- [10] 杨极武,冯万贵,安恒军,等.沼气、沼液和沼渣在蔬菜生产中的应用[J].北方园艺,2006(3):80-81.
- [11] 张建华,杨理芳,赵航.作物施用沼肥增产节本效应[J].现代农业科技,2008(4):107-108.
- [12] 张进,张妙仙,单胜道,等.沼液对水稻生长产量及其重金属含量的影响[J].农业环境科学学报,2009,28(10):2005-2009.
- [13] 郝鲜俊.沼液、沼渣对 3 种蔬菜产量品质及土壤性状影响的研究[D].太谷:山西农业大学,2007.