

聚丙烯酰胺施用方式对土壤水热及春小麦生产的影响

张蕊¹,耿桂俊²,于健³,白岗栓^{4,5}

(1.西北农林科技大学林学院,陕西杨凌 712100; 2.中国水电顾问集团西北勘测设计研究院,陕西西安 710065;
3.内蒙古自治区水利科学研究院,内蒙古呼和浩特 010020; 4.中国科学院水利部水土保持研究所,陕西杨凌 712100;
5.西北农林科技大学水土保持研究所,陕西杨凌 712100)

摘 要: 为了寻找聚丙烯酰胺在春小麦生产中的最佳施用方式,2010 年在河套灌区,采用田间试验,以不施用聚丙烯酰胺为对照,开展了沟施、混施、撒施聚丙烯酰胺对土壤水分、土壤温度和春小麦生长状况的影响研究。结果表明:不同施用方式均提高了土壤水分含量,特别是在缺乏灌溉的开花期具有显著作用,其中撒施效果较强,沟施、混施较弱;不同施用方式降低了土壤最高温度,提高了最低温度,缩小了日温差,降低了日均温,其中撒施对地表温度影响较大,沟施对 10 cm 土层土壤温度影响较大;沟施、混施、撒施均提高了春小麦的总生物量及根系生物量,促进了根系向深层土壤分布,分别较对照增产 9.11%、3.94% 和 28.82%;不同施用方式提高了水分利用效率、水分产出率和灌溉水分产出率,其中撒施效果较强,沟施较弱。在河套灌区,春小麦播种时施用聚丙烯酰胺,撒施应是最适宜的方式。

关键词: 聚丙烯酰胺;施用方式;土壤水分;土壤温度;春小麦

中图分类号: S152.7;S152.8;S512.1+2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)01-0140-06

Effects of PAM with different application methods on soil moisture, soil temperature and production of spring wheat

ZHANG Rui¹, GENG Gui-jun², YU Jian³, BAI Gang-shuan^{4,5}

(1. Forestry College, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China; 2. Institute of Northwest Exploration and Design, China Hydropower Engineering Consulting Group Company, Xi'an, Shaanxi 710065, China;
3. Institute of Inner Mongolia Hydraulic Research, Huhhot, Inner Mongolia 010020, China;
4. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China; 5. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: In order to probe the best application method of polyacrylamide (PAM) in spring wheat production, a field experiment was carried out in Hetao irrigation district in Inner Mongolia in 2010, to investigate the effects of PAM being applied with three methods of furrowing, mixing and broadcasting on the soil moisture, soil temperature and growth of spring wheat, with no PAM as control. The results indicated that all application methods of PAM increased the soil moisture content, which was especially remarkable during florescence when the irrigation was absent, and the effect of broadcasting was stronger than that of furrowing and mixing. All application methods of PAM reduced the maximum temperature, increased the minimum temperature, decreased the diurnal temperature difference, and reduced the daily mean temperature of soil, among which broadcasting mainly affected the earth's surface temperature, while furrowing mainly affected the soil temperature at 10 cm depth. The PAM treatments increased both the root biomass and total biomass, and promoted the distribution of crop roots in deep soil. Compared with the control, the yields of furrowing, mixing and broadcasting application were increased by 9.11%, 3.94% and 28.82%, respectively. All the PAM treatments improved the water use efficiency, water production rate and irrigation production rate, in which the effect of broadcasting was the largest, and that of furrowing was the lowest. In Hetao irrigation district, it is the optimum method to apply PAM

收稿日期:2012-04-13

基金项目:水利部科技推广计划项目“保水剂技术的推广应用”(TG1144);国家“十二五”科技攻关项目“内蒙古河套灌区粮油作物节水技术集成与示范”(2011BAD29B03);国家“十二五”科技攻关项目“黄土丘陵沟壑区水土保持与高效农业关键技术集成与示范”(2011BAD31B05)

作者简介:张蕊(1987—),女,陕西西安人,在读研究生,主要从事农业生态方面的研究。E-mail: lincerz@nwsuaf.edu.cn.

通信作者:白岗栓(1965—),男,陕西富平人,研究员,主要从事果树栽培及保水剂应用方面的研究。E-mail: gshb@nwsuaf.edu.cn.

at the sowing stage of spring wheat by broadcasting.

Keywords: polyacrylamide (PAM); application methods; soil moisture; soil temperature; spring wheat

聚丙烯酰胺(PAM, Polyacrylamide)作为一种高分子聚合物,能以各种比例溶于水,具有很强的粘聚作用。聚丙烯酰胺分子链上的酰胺基可与许多物质亲和、吸附形成氢键^[1],使细小的土壤颗粒黏结而不易移动,从而保持较好的土壤结构;聚丙烯酰胺还能提高肥料利用率和作物产量,改善土壤生态环境^[2-3],增加土壤中团聚体的稳定性,防止土壤结皮,增加土壤水分入渗,减少地表径流,防止水土流失,抑制水分蒸发^[4-5],具有保水、保土、保肥、增产等效用,已成为解决干旱地区水资源短缺的一条新途径。有关聚丙烯酰胺在水土保持方面的研究较多^[6-7],而在农业生产中的应用较少。为了促进节水农业的发展及寻求聚丙烯酰胺在农业生产中的最佳施用方式,2010年在河套灌区开展了不同施用方式对土壤水分、土壤温度和春小麦生产的影响研究。

1 材料与方法

1.1 试验地的自然条件

坝楞村地处干旱、半干旱荒漠草原带,年均气温7.6℃,降雨量142.7 mm,蒸发量2 381.8 mm,无霜期136~144 d。试验地土壤为灌淤土,质地为壤土,灌淤层厚度为1.0 m左右,耕层有机质约10.0 g·kg⁻¹,田间持水量23.23%,凋萎系数11.07%,0~80 cm土层土壤容重为1.48 g·cm⁻³,地下水位3.0 m以下。

1.2 材料与方法

供试春小麦品种为永良4号,2010年3月25日顶凌播种。试验用聚丙烯酰胺为白色粉末,分子量120万 Da(Da表示一个C¹²原子质量的1/12)。参照员学锋^[3]、杜社妮^[8]、冒建华^[9]的试验结果,聚丙烯酰胺的施用量为45 kg·hm⁻²。

试验以不施聚丙烯酰胺为对照,设有沟施、混施和撒施。对照是在春小麦播种前开深6.0 cm、宽8.0 cm的小沟,将化肥均匀撒施在沟内,耧平小沟,然后种植春小麦。沟施是在开沟施肥时将聚丙烯酰胺均匀撒施在沟内。混施是将聚丙烯酰胺均匀撒施在地表,然后开沟施肥。撒施是在开沟施肥、种植春小麦后将聚丙烯酰胺均匀撒施在地表上,沟施、混施、撒施的开沟深度与对照一样,都是6.0 cm。试验重复3次,共12个小区。小区面积为4.8 m×10.0 m。

供试春小麦行距为11.0 cm,播种量为375.0

kg·hm⁻²。不同处理播种时施磷酸二铵375.0 kg·hm⁻²,氯化钾37.5 kg·hm⁻²,小麦拔节期随灌溉追施尿素150.0 kg·hm⁻²。小麦分蘖期(5月14日)、拔节期(5月24日)、灌浆期(6月23日)和蜡熟期(7月7日)进行灌溉,灌水量分别为90、75、90 mm和75 mm。小麦生育期内不同处理的灌水量、灌水次数、施肥、追肥、除草等管理措施相同。

1.3 测定项目

土壤水分 春小麦根系主要分布于20~40 cm土层。播种前以10 cm土层为单位,烘干法测定0~80 cm土层土壤水分。春小麦苗期(4月15日)、三叶期(5月7日)、拔节期(5月19日)、孕穗期(5月31日)、开花期(6月17日)以及收获期(7月12日)测定不同处理0~80 cm土层土壤含水率(质量%)。根据不同土层的土壤体积质量、土层厚度和土壤含水率换算出不同土层的土壤水层厚度(mm)^[8,10-11]。

土壤温度 根据《中华人民共和国气象行业标准》^[12],在春小麦出苗期、分蘖期测定不同处理的地表温度和10、20 cm土层土壤温度。

生物量 春小麦分蘖期以种植行为圆心,用根钻(根钻直径为10 cm)测定小麦根系生物量和分布深度。春小麦抽穗期调查株高、穗、茎秆、叶片生物量及根系生物量、根系分布深度。成熟期以1.0 m²为单位取样,测定单位面积小麦的穗数、无效蘖及茎秆、叶片、颖片、籽粒生物量和千粒质量。

小区旁设有农田小气候监测仪,测定小麦生长期间的降水量。

试验地平整,土壤质地均一,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降水量大于5.0 mm的降水量)、灌溉量,计算不同处理的田间耗水量、水分利用效率、水分产出率^[8,10-11]。

1.4 数据处理

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,则采用邓肯检验进行多重比较,检验处理间的差异显著性。

2 结果与分析

2.1 春小麦生长期间的降水量

从播种到收获(3月25日到7月12日)共降水59.1 mm,其中有效降水56.6 mm,主要集中在拔节

期到孕穗期,苗期、收获期降水较少。2010 年春小麦播种前 0~80 cm 土层土壤含水量为 298.30 mm。

2.2 不同施用方式对土壤水分的影响

小麦生长期 0~80 cm 土层土壤水分表现为开花期最低,拔节期、孕穗期较高(图 1)。

播种到出苗期为土壤冻融阶段。出苗期沟施、混施、撒施耕层(0~20 cm 土层)土壤水分含量分别为 54.13、53.65、54.42 mm,显著高于($P < 0.01$)对照(45.50 mm),不同施用方式间无显著差异。出苗期深层土壤仍处于冻结状态,沟施、混施、撒施 20~80 cm 土层分别为 257.53、258.95、261.01 mm,略高于对照(251.64 mm),但无显著差异。出苗期沟施、混施、撒施 0~80 cm 土层土壤水分含量均显著高于($P < 0.05$)对照,不同处理间无显著差异(图 1)。

苗期到三叶期无有效降水,土壤水分较出苗期显著降低(图 1)。三叶期沟施、混施、撒施耕层(0~20 cm)土壤水分含量分别为 43.41、42.80、42.90 mm,均极显著高于对照(36.70 mm),不同施用方式之间无显著差异。三叶期沟施、混施、撒施 20~80 cm 土层土壤水分含量分别为 235.18、229.05、227.12 mm,略高于对照(224.02 mm),但无显著差异。三叶期沟施 0~80 cm 土层土壤水分含量显著高于对照,混施、撒施与对照无显著差异。

三叶期到拔节期有效降水量为 5.4 mm,灌水 90 mm(5 月 14 日)。由于土壤水分测定日较灌水期较

近,不同处理间无显著差异(图 1)

孕穗期对照、沟施、混施、撒施耕层(0~20 cm)土壤水分含量分别为 51.78、52.54、53.58、57.30 mm,撒施显著高于其他处理;0~80 cm 土层土壤含水量分别为 273.59、276.19、279.88、286.42 mm,撒施显著高于对照,其他处理间无显著差异。

孕穗期到开花期土壤水分含量急剧下降(图 1)。开花期沟施、混施、撒施耕层(0~20 cm)土壤水分含量分别为 23.35、22.14、25.05 mm,极显著低于萎蔫系数(耕层 32.76 mm),但沟施、撒施仍极显著高于对照(20.54 mm),混施显著高于对照。开花期沟施、混施、撒施 20~80 cm 土层土壤含水量分别为 167.90、165.10、171.01 mm,其中撒施显著高于对照(162.47 mm)。开花期沟施、混施、撒施 0~80 cm 土层土壤水分含量分别为 191.25、187.24、196.06 mm,其中撒施显著高于对照(183.01 mm),其它处理间无显著差异。

收获期沟施、混施、撒施耕层(0~20 cm)土壤水分含量分别为 54.50、55.80、53.12 mm,均显著低于对照(59.20 mm)。沟施、混施、撒施 20~80 cm 土层土壤水分含量分别为 245.30、247.20、243.10 mm,均略低于对照(254.96 mm),但无显著差异。沟施、混施、撒施、对照 0~80 cm 土层土壤水分含量分别为 299.80、303.00、296.22、314.16 mm,其中仅撒施显著低于对照。

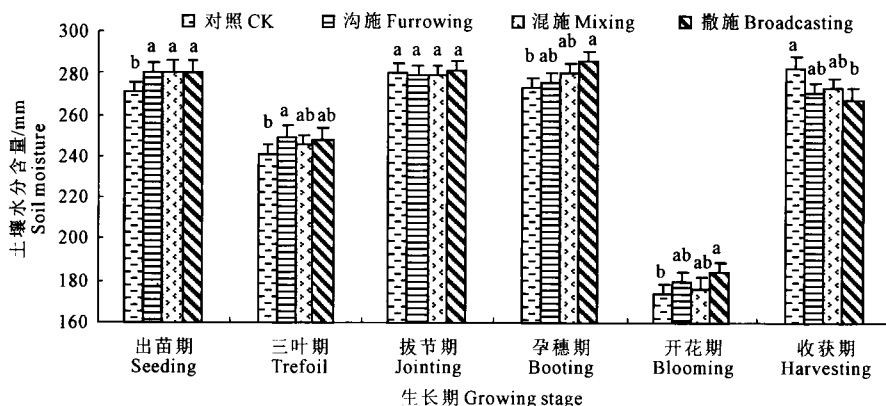


图 1 不同处理春小麦在不同生长期 0~80 cm 土层土壤水分含量

Fig.1 Soil moisture of different treatments during different growing stage of spring wheat

2.3 不同施用方式对土壤温度的影响

聚丙烯酰胺施入土壤,一方面可提高土壤的含水量,另一方面可显著改善土壤的保温性^[2,13]。

2.3.1 出苗期 土壤温度影响作物根系生长以及土壤养分有效性和微生物活性^[14]。出苗期不同施用方式均极显著降低了地表最高温度,提高了最低温度,降低了日温差及日均温(表 1),其中撒施对地

表温度影响较大。

沟施、混施、撒施 10 cm 土层土壤的最高温度显著高于对照,最低温度极显著高于对照;撒施的日温差显著低于对照,沟施的日均温显著低于对照(表 1)。沟施对 10 cm 土层的土壤温度影响相对较大。

出苗期沟施、撒施 20 cm 土层土壤的最高温度显著高于对照。沟施、混施、撒施的最低温度显著高

于对照,日温差与对照无显著差异,日均温均显著低20 cm 土层的土壤温度影响相对较大。
于对照,其中沟施极显著低于对照(表 1)。沟施对

表 1 春小麦出苗期土壤温度状况/℃

Table 1 Soil temperature under different PAM applying treatments at emergence stage of spring wheat

处理方式 Treatments	地表 Earth surface				10 cm 土层 10 cm soil layer				20 cm 土层 20 cm soil layer			
	最高 温度 Max. tempera- ture	最低 温度 Min. tempera- ture	日温差 Daily tempera- ture difference	日均温 Daily mean tempera- ture	最高 温度 Max. tempera- ture	最低 温度 Min. tempera- ture	日温差 Daily tempera- ture difference	日均温 Daily mean tempera- ture	最高 温度 Max. tempera- ture	最低 温度 Min. tempera- ture	日温差 Daily tempera- ture difference	日均温 Daily mean tempera- ture
对照 CK	29.2aA	5.6cC	23.6aA	19.6aA	12.3b	2.0cB	10.3a	8.9a	7.1b	2.7b	4.4a	5.2aA
沟施 Furrowing	28.0bB	6.2bB	21.8bB	18.6bB	12.9a	2.8aA	10.1ab	8.3b	7.6a	3.2a	4.4a	4.6cB
混施 Mixing	27.2cBC	6.4bB	20.8cC	18.4bcB	12.8a	2.6bA	10.2ab	8.6ab	7.4ab	3.0a	4.4a	4.9bAB
撒施 Broadcasting	26.8dC	7.6aA	19.2dD	18.2cB	12.7a	2.8aA	9.9b	8.5ab	7.5a	3.1a	4.4a	4.8bcAB

注:试验数据采用邓肯新复极差法进行统计分析,同列不同小、大写字母分别表示差异达显著($P < 0.05$)和极显著($P < 0.01$)水平,下同。
Note: Data in the table are tested with Duncan's new multiple range test(SSR). Different small and capital letters in the same column denote significant difference at 0.05 and 0.01 level, respectively. The same in following tables.

2.3.2 分蘖期 分蘖期撒施的地表最高温度显著低于对照与沟施。沟施、混施、撒施的最低温度极显著高于对照,且撒施显著高于沟施与混施。沟施、混施、撒施的日温差极显著低于对照,且撒施极显著低于沟施,显著低于混施。不同施用方式的日均温均极显著低于对照,且撒施极显著低于沟施与混施,混施显著低于沟施(表 2)。分蘖期撒施对地表温度的影响相对较大。

分蘖期沟施、混施、撒施 10 cm 土层土壤最高温度极显著高于对照,且沟施极显著高于混施与撒施,撒施显著高于混施。沟施、撒施的最低温度显著高于对照与混施。日温差为沟施、混施极显著高于对照与撒施。不同施用方式的日均温均显著低于对照,其中沟施最低,但不同施用方式间无显著差异(表 2)。沟施对 10 cm 土层的土壤温度影响相对较大。

沟施、撒施、混施 20 cm 土层最高温度、最低温

度均略高于对照,但无显著差异。沟施的日温差显著高于对照,混施、撒施与对照无显著差异。不同施用方式的日均温均略低于对照,但无显著差异(表 2)。

2.4 不同施用方式对春小麦生长的影响

2.4.1 拔节期和孕穗期 较高的土壤水分、较低的气温及土壤温度利于春小麦根系生长,减少分蘖^[15]。拔节期不同处理单株的地上部生物量、根系生物量、分蘖数为撒施>混施>沟施>对照,聚丙烯酰胺极显著促进了春小麦生长,且撒施的根系生物量、分蘖数显著大于沟施,沟施的根系分布深度显著深于对照及混施、撒施(表 3)。

孕穗期撒施、混施的株高略高于对照,沟施略低于对照。不同施用方式极显著提高了地上部生物量及根系生物量。撒施的根系生物量极显著大于沟施,显著大于混施,混施显著大于沟施。沟施、混施的春小麦根系分布深度极显著深于撒施及对照,沟施极显著深于混施(表 3)。

表 2 春小麦分蘖期土壤温度状况/℃

Table 2 Soil temperature under different PAM applying treatments at tillering stage of spring wheat

处理方式 Treatments	地表 Earth surface				10 cm 土层 10 cm soil layer				20 cm 土层 20 cm soil layer			
	最高 温度 Max. tempera- ture	最低 温度 Min. tempera- ture	日温差 Daily tempera- ture difference	日均温 Daily mean tempera- ture	最高 温度 Max. tempera- ture	最低 温度 Min. tempera- ture	日温差 Daily tempera- ture difference	日均温 Daily mean tempera- ture	最高 温度 Max. tempera- ture	最低 温度 Min. tempera- ture	日温差 Daily tempera- ture difference	日均温 Daily mean tempera- ture
对照 CK	51.2a	8.7cB	42.5aA	35.0aA	21.5dC	8.5b	13.0cC	17.3a	17.6a	10.8a	6.8b	14.3a
沟施 Furrowing	49.3b	10.7bA	38.6bB	33.7bB	24.4aA	9.4a	15.0aA	16.6b	18.1a	11.1a	7.2a	13.9a
混施 Mixing	48.9bc	10.8bA	38.1bBC	33.1cB	22.6cB	8.7b	13.9bB	16.9b	17.8a	10.9a	6.9ab	14.0a
撒施 Broadcasting	48.4c	11.2aA	37.2cC	31.5dC	23.0bB	9.2a	12.8cC	16.9b	17.8a	11.1a	6.7b	14.1a

表 3 拔节期、孕穗期不同处理的生长状况

Table 3 Growth parameters of spring wheat at jointing and boot stage

处理方式 Treatments	拔节期 Jointing stage					孕穗期 Booting stage		
	地上部生物量 /(g·株 ⁻¹) Above-ground biomass /(g·plant ⁻¹)	根系生物量 /(g·株 ⁻¹) Root biomass /(g·plant ⁻¹)	分蘖数 Tiller number	根系深度 Root depth /cm	株高 Plant height /cm	地上部生物量 /(g·株 ⁻¹) Above-ground biomass /(g·plant ⁻¹)	根系生物量 /(g·株 ⁻¹) Root biomass /(g·plant ⁻¹)	根系深度 Root depth /cm
对照 CK	0.11bB	0.032cB	1.13cB	34.0b	43.14a	0.358bB	0.055dC	50.0cC
沟施 Furrowing	0.21aA	0.046bA	1.18bA	38.3a	42.34a	0.480aA	0.064cB	59.0aA
混施 Mixing	0.22aA	0.049abA	1.21abA	35.0b	43.40a	0.496aA	0.068bAB	56.0bB
撒施 Broadcasting	0.23aA	0.052aA	1.25aA	34.2b	43.64a	0.512aA	0.072aA	51.0cC

2.4.2 收获期 对照小麦于 7 月 8—9 日成熟,而撒施、沟施、混施于 11—12 日成熟,较对照延迟 3~4 d。

不同施用方式极显著提高了茎秆、叶片、颖片及地上部总生物量,其中撒施、沟施效果较强,混施较弱。不同施用方式提高了籽粒产量及千粒质量,沟施、混施、撒施较对照分别增产 9.11%、3.94% 和 28.82%,沟施显著高于对照,撒施极显著高于对照及沟施与混施(表 4)。不同施用方式的经济系数均显著高于对照,其中撒施、混施极显著高于对照。

2.5 不同施用方式对水分利用效率的影响

小麦生长期间有效降水 56.6 mm,灌水 330.0

mm。不同施用方式的耗水量较对照高 10.0~15.0 mm,但无显著差异(表 5)。

沟施、混施、撒施的水分利用效率分别较对照提高了 15.01%、11.43%、23.53%,均极显著高于对照,且撒施显著高于沟施,极显著高于混施。沟施、混施、撒施水分产出率较对照提高了 6.00%、1.54%、24.27%,其中撒施极显著高于沟施、混施及对照,沟施显著高于对照。沟施、混施、撒施灌溉水产出率较对照提高了 9.11%、3.92%、28.80%,撒施极显著高于沟施、混施及对照,沟施显著高于对照(表 5)。不同处理中,撒施的水分利用效率、水分产出率、灌溉水产出率最高。

表 4 收获期不同处理的生物量

Table 4 Biomass of spring wheat in harvest time

处理方式 Treatments	茎秆 Stalk /(g·m ⁻²)	叶片 Leaves /(g·m ⁻²)	颖片 Glume /(g·m ⁻²)	籽粒 Kernel /(g·m ⁻²)	总生物量 Total biomass /(g·m ⁻²)	穗数 /(个·m ⁻²) Spike number /(spikes·m ⁻²)	无效蘖 /(个·m ⁻²) Ineffective tillers /(tillers·m ⁻²)	千粒质量 1000-kernel weight /g	经济系数 Economic coefficient
对照 CK	249.87bB	100.55 bB	216.95 bB	521.43cB	1088.80cC	576a	86aA	28.31b	0.29cB
沟施 Furrowing	287.54aA	138.29 aA	294.32 aA	568.95bB	1289.10bAB	561a	62cC	29.39ab	0.31bAB
混施 Mixing	279.45aA	132.57 aA	288.23 aA	541.97bcB	1242.22bB	569a	77bB	28.57ab	0.33aA
撒施 Broadcasting	289.38aA	138.08 aA	295.87 aA	671.69aA	1395.02aA	557a	50dD	29.95a	0.33aA

表 5 不同处理的耗水量及水分利用效率

Table 5 Water consumption and water use efficiency under different treatments

处理方式 Treatments	土壤水分/mm Soil moisture		有效 降水量 Effective rainfall /mm	灌水量 Irrigation water /mm	耗水量 Water consumption /mm	产量 Yield /(kg· hm ⁻²)	生物量 Biomass /(kg· hm ⁻²)	水分利用效率 WUE /(kg·mm ⁻¹ · hm ⁻²)	水分产出率 Water output rate /(kg·mm ⁻¹ · hm ⁻²)	灌溉水产出率 Irrigation water output rate /(kg·mm ⁻¹ · hm ⁻²)
	播种前 Before sowing	收获期 Harvest								
对照 CK	298.30	283.26a	56.6	330	401.64a	3233.4cC	10888.0cC	27.11cC	12.98cB	15.80cB
沟施 Furrowing	298.30	271.50ab	56.6	330	413.40a	4122.9bB	12891.0bAB	31.18bAB	13.76bB	17.24bB
混施 Mixing	298.30	273.70ab	56.6	330	411.20a	4098.6bB	12422.2bB	30.21bB	13.18cB	16.42bcB
撒施 Broadcasting	298.30	268.32b	56.6	330	416.58a	4593.7aA	13950.2aA	33.49aA	16.13aA	20.35aA

3 讨 论

聚丙烯酰胺可促进土壤水分入渗^[16],增加可供作物利用的水分^[17]。河套灌区沟施、混施、撒施聚丙烯酰胺,提高了土壤水分,特别是提高了小麦水分临界期的土壤水分,为小麦生长提供了相对良好的土壤环境,促进小麦生长,提高小麦产量。沟施、混施、撒施的效果不同,主要与聚丙烯酰胺的性质与河套灌区的土壤质地密切相关。聚丙烯酰胺撒施于地表,灌溉时可促进水分快速入渗,提高深层土壤水分含量,且灌水后在土壤表层形成一层薄膜,阻碍水分蒸发。聚丙烯酰胺沟施、混施于土壤,由于聚丙烯酰胺在絮凝土壤的同时,长链尾部会堵塞土壤颗粒间的孔隙,减少土壤水分入渗,从而减少土壤水分含量。河套灌区土壤中的 Na^+ 、 K^+ 、 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 等阳离子含量较高,特别是土壤中的 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 等金属阳离子,可降低聚丙烯酰胺的吸水倍率^[17]。沟施、混施的聚丙烯酰胺与土壤密切接触,特别是混施,将聚丙烯酰胺均匀地分散于土壤中,降低了聚丙烯酰胺的保水性。聚丙烯酰胺施入土壤,对创建粒径为 0.25~4.00 mm 的土壤团粒结构有利,可显著提高土壤的膨胀率和土壤的保温性^[13],因而土壤的最高温度降低,最低温度升高,日温差缩小,日均温降低。聚丙烯酰胺撒施于土壤表面,可在土壤表层吸收、聚集较多的水分,且聚丙烯酰胺遇水溶解形成的薄膜有利于土壤温度保持在相对稳定的状态,因而对地表温度影响较大。沟施、混施的聚丙烯酰胺在 0~6 cm 土层保持了较多的水分,因此对 10 cm 土层土壤温度的影响大于撒施;沟施与混施相比保水层相对集中且较深,因而对 10 cm 土层土壤温度影响大于混施。不同施用方式的保水层主要在 0~6 cm,故对 20 cm 土层土壤温度影响相对较小。春小麦产量以主茎为主,大穗、壮穗是丰产的基础^[15]。撒施聚丙烯酰胺提高了土壤水分,降低了日温差,减少了无效蘖,延长了生长期,促进春小麦生长,特别是在缺水的开花期提高了土壤水分,利于开花授粉和充分灌浆;聚丙烯酰胺可显著吸附土壤中有机质、碱解氮、速效磷和速效钾等,提高土壤养分^[18-20],故其籽粒产量、千粒重、水分利用效率、水分产出率、灌溉水产出率显著提高。沟施、混施也提高了土壤水分及改善了土壤温度,但单位面积穗数、无效蘖增多,影响了田间通风透光状况,与撒施相比不利于大穗、壮穗及饱粒、满粒的形成,特别是混施,无效蘖较多,降低了产量及水分利用效率。聚丙烯酰胺不同施用方式的施用效果与保水剂不同,主要与二者的结构

及形态不同有关^[21]。

4 结 论

1) 沟施、混施、撒施聚丙烯酰胺提高了土壤水分,尤其是在缺乏灌溉的开花期显著提高了土壤水分,为小麦增产打下了基础。不同施用方式中,撒施的保水效果较强,混施较弱。

2) 聚丙烯酰胺不同施用方式对土壤温度的影响表现为降低最高温度,提高最低温度,缩小日温差,降低日均温。撒施对表层土壤温度影响较大,沟施对 10 cm 土层土壤温度影响较大。

3) 聚丙烯酰胺增加了春小麦地上部及根系生物量,促进根系向深层土壤分布,减少无效蘖,延长生长期。沟施、混施、撒施较对照分别增产了 9.11%、3.94% 和 28.82%。

4) 沟施、混施、撒施聚丙烯酰胺提高了水分利用效率、水分产出率和灌溉水分产出率,其中撒施效果最为显著,沟施、混施较弱。

聚丙烯酰胺撒施于土壤表层,操作简单、方便,增产量大,可作为河套灌区聚丙烯酰胺在春小麦生产中的最佳施用方式。

参 考 文 献:

- [1] 唐泽军,雷廷武,张晴文,等.聚丙烯酰胺增加土壤降雨入渗减少侵蚀的模拟试验研究 I.入渗[J].土壤学报,2003,40(2):178-185.
- [2] 王小彬,蔡典雄.土壤调理剂 PAM 的农用研究和应用[J].植物营养与肥料学报,2000,6(4):457-463.
- [3] 员学锋,吴普特,冯浩.聚丙烯酰胺(PAM)的改土及增产效应[J].水土保持研究,2002,9(2):55-58.
- [4] Sojka R E, Lentz R D, Westerman D T. Water and erosion management with multiple application of polyacrylamide in furrow irrigation[J]. Soil Science Society of America Journal,1998,62:1672-1680.
- [5] Lentz R D, Sojka R E. Field results using polyacrylamide to manage furrow erosion[J]. Soil Science,1994,158:274-282.
- [6] 刘瑞凤,张俊平,王爱勤.PAM-atta 复合保水剂的保水性能及影响因素研究[J].农业工程学报,2005,21(9):47-50.
- [7] 杨永辉,武继承,赵世伟,等.PAM 的土壤保水性能研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2001,35(12):120-124.
- [8] 杜社妮,白岗栓,赵世伟,等.沃特和 PAM 对土壤水分及马铃薯生长的影响研究[J].农业工程学报,2007,23(8):72-79.
- [9] 冒建华,雷廷武,周清.聚丙烯酰胺 PAM 提高苜蓿出苗率的研究[J].北京水利,2005,(2):24-31.
- [10] 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.
- [11] 杜社妮,赵世伟,白岗栓.沃特和 PAM 对土壤水分及玉米生长的影响[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2008,34(1):81-88.

(下转第 165 页)

血酸(Vc)等增加,以保持体内活性氧积累与清除系统的平衡^[15],耐旱性强的品种/材料能维持较高的SOD、POD和CAT活性,有较强的抗氧化胁迫能力^[16-18]。但是,本试验旱田高产、低产品种间抗氧化性状SOD、POD没有发现明显差异规律,并且抗氧化性状与旱田单株产量也没有显著相关性,这可能由于干旱处理时期所造成。相关分析发现茎粗与穗基粗、根数、POD和SPAD值达显著正相关,千粒重与SOD、POD值呈正相关,地上部鲜重与根基粗和CAT呈正相关,多数抗旱相关性状之间都是呈正相关的,暗示这些性状还是从不同的抗旱途径,共同作用提高品种的抗旱性。

3.2 适宜的优良抗旱品种

河南早稻推广品种一直存在品种多杂乱、适应性差、抗旱性不强、产量低等严重问题,筛选适宜优良早稻品种是农民所急需的。本试验利用旱田单株产量和分蘖数的最短距离法对所选用23个水、旱稻品种聚类分析,发现毫格劳、洛稻998、IRAT109、徐旱702、原早稻3号、郑早9号和郑早2号旱棚抗旱性较强,单株产量表现较好。进一步结合田间株型表现和品种亲本遗传来源分析,毫格劳和IRAT109是典型早稻,抗旱性很强,但株型差,群体产量不高。郑早9号是早稻IRAT109和越富的双单倍体群体后代,早稻遗传组成较多,抗性强,株型差,群体产量也不高。洛稻998、徐旱702、原早稻3号和郑早2号可能是旱田种植宜选择的优良抗旱品种。但是,本研究只是在旱棚单粒直播试验得到的结果,产量只是单株产量,有必要进行大田小区的多点试验,进一步明确品种的抗旱和生理生态适应性,才能筛选出河南黄淮麦茬稻区旱作条件下既高产又耐旱的优良早稻品种。

参考文献:

- [1] Luo L J. Breeding for water-saving and drought resistance rice (WDR) in China[J]. Journal of Experimental Botany, 2010, 61(13): 3509-3517.
- [2] 杨建昌,王志琴,朱庆森.水稻品种的抗旱性及其生理特性的研究[J].中国农业科学,1995,28(5):65-72.
- [3] 吴磊,陈展宇,张治安,等.不同旱稻品种灌浆期抗旱生理适应性的研究[J].干旱地区农业研究,2008,26(4):163-166.
- [4] 王贺正,李艳,马均,等.水稻苗期抗旱性指标的筛选[J].作物学报,2007,33(9):1523-1529.
- [5] Price A H, Virk D S, Tomos A D. Genetic dissection of root growth in rice (*Oryza sativa* L.). I: a hydroponic screen[J]. Theoretical and Applied Genetics, 1997, 95: 132-142.
- [6] 凌祖铭,李自超,余荣,等.水陆稻根部性状的研究[J].中国农业大学学报,2002,7(3):7-11.
- [7] 代贵金,华泽田,陈温福,等.杂交粳稻、常规粳稻、早稻及籼稻根系特征比较[J].沈阳农业大学学报,2008,39(5):515-519.
- [8] Li J Z, Wang D P, Xie Y, et al. Development of upland rice introgression lines and identification of QTLs for basal root thickness under different water regimes[J]. Journal of Genetics and Genomics, 2011, 38(11):547-556.
- [9] 王贺正,马均,李旭毅,等.水稻开花期一些生理生化特性与品种抗旱性的关系[J].中国农业科学,2007,40(2):399-404.
- [10] 王贵昌,王向东,赵鹏珂,等.栽培稻叶结构、水分生理与抗旱性关系研究[J].中国农学通报,2010,26(19):76-80.
- [11] 付学琴,贺浩华,文飘,等.东乡野生稻回交重组系的抗旱性评价体系[J].应用生态学报,2012,23(5):1277-1285.
- [12] 高俊凤.植物生理学试验技术[M].北京:高等教育出版社,2006.
- [13] 李合生.植物生理生化实验原理和技术[M].北京:高等教育出版社,2000.
- [14] Kano M, Inukai Y, Kitano H, et al. Root plasticity as the key root trait for adaptation to various intensities of drought stress in rice[J]. Plant Soil, 2011, 342: 117-128.
- [15] 陈少裕.膜脂过氧化与植物逆境胁迫[J].植物学通报,1989,6(4):211-217.
- [16] 郭振飞,卢少云,李宝盛,等.不同耐旱性水稻幼苗对氧化胁迫的反应[J].植物学报,1997,39:748-752.
- [17] Ouyang S Q, Liu Y F, Liu P, et al. Receptor-like kinase OsSIK1 improves drought and salt stress tolerance in rice (*Oryza sativa*) plants[J]. The Plant Journal, 2010, 62(2):316-329.
- [18] Liu C C, Liu Y G, Guo K, et al. Effect of drought on pigments, osmotic adjustment and antioxidant enzymes in six woody plant species in karst habitats of southwestern China[J]. Environmental and Experimental Botany, 2011, 71: 174-183.
- [12] 中国气象局. QX/T 57-2007. 地面气象观测规范:地温观测[S].北京:气象出版社,2007.
- [13] 杨瑞香,杨妙贤,贾振宇,等.新型多功能保水剂对广东赤红壤的改良作用研究[J].仲恺农业技术学院学报,2007,20(1):33-35.
- [14] 陈宝玉,王洪君,孙海芹,等.保水剂对土壤温度和水分动态的影响[J].中国水土保持科学,2008,6(6):32-36.
- [15] 山东农学院.作物栽培学[M].北京:农业出版社,1980:22-168.
- [16] Green V S, Stott D E, Norton L D, et al. Polyacrylamide molecular weight and charge effects on infiltration under simulated rainfall[J]. Soil Science Society of America Journal, 2000, 64: 1786-1791.
- [17] 李晶晶,白岗栓.保水剂在水土保持中的应用及研究进展[J].中国水土保持科学,2011,9(5):114-120.
- [18] 张俊平,刘瑞凤,王爱勤. PAM/凹凸棒粘土复合高吸水性树脂的吸水性能[J].高分子材料科学与工程,2006,22(5):151-158.
- [19] 员学锋,吴普特,汪有科,等.施加PAM条件下土壤养分淋溶试验研究[J].水土保持通报,2003,23(2):26-28.
- [20] 龙明杰,曾繁森.高聚物土壤改良剂的研究进展[J].土壤通报,2000,31(5):199-202.
- [21] 耿桂俊,白岗栓,杜社妮,等.保水剂施用方式对土壤水盐及番茄生长的影响[J].中国水土保持科学,2011,9(3):65-70.

(上接第 145 页)

- [12] 中国气象局. QX/T 57-2007. 地面气象观测规范:地温观测[S].北京:气象出版社,2007.
- [13] 杨瑞香,杨妙贤,贾振宇,等.新型多功能保水剂对广东赤红壤的改良作用研究[J].仲恺农业技术学院学报,2007,20(1):33-35.
- [14] 陈宝玉,王洪君,孙海芹,等.保水剂对土壤温度和水分动态的影响[J].中国水土保持科学,2008,6(6):32-36.
- [15] 山东农学院.作物栽培学[M].北京:农业出版社,1980:22-168.
- [16] Green V S, Stott D E, Norton L D, et al. Polyacrylamide molecular weight and charge effects on infiltration under simulated rainfall[J].