

化学集成调控技术对土壤水氮与玉米产量的影响*

廖人宽 张志成 任树梅 程闯胜 杨培岭

(中国农业大学水利与土木工程学院,北京 100083)

摘要:以北京密云雨养型玉米为研究对象,联合采用土壤表土改良剂(PAM)、土壤保水剂(SAP)和叶面抗蒸腾剂(FA)3种典型化学制剂进行生产应用,研究了化学集成调控技术对土壤含水率、氮素含量及玉米产量的影响效应,探索了玉米产量最优的化学调控集成应用模式。结果表明,3种化学制剂对土壤含水率、氮素含量和玉米产量的影响效应不一致,PAM、SAP对土壤水分和速效氮影响显著,而PAM、SAP和FA则共同对土壤全氮、玉米产量产生显著影响;在本试验条件下,FA 400倍液、SAP 90 kg/hm²的化学集成调控处理配合270 kg/hm²尿素施用量可以得到最大玉米产量,同时玉米生育期内土壤速效氮质量比和平均含水率均为最高,分别为45.44 mg/kg和0.12,有利于作物对水肥的吸收利用,其最大玉米产量1.30 kg/m²相较于未施加化控制剂的对照组,增产可达21%。

关键词:玉米 土壤表面改良剂 土壤保水剂 叶面抗蒸腾剂 产量

中图分类号: S152.4; S154.4 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-1298(2014)06-0166-06

引言

旱地农业是我国农业生产的重要组成部分,是我国农、林、牧业的重要产业基地,全世界干旱半干旱地区现有耕地6亿多hm²,约占世界总耕地面积的42.9%^[1]。大力发展旱地农业技术对于缓解全球水资源紧缺和农业面源污染状况以及促进农业经济的发展都具有重大的意义。

化学调控技术是基于水肥因子调控的一项旱地农业生产技术,是以土壤和作物为调控对象,以提高水肥利用效率为核心目标,通过典型化学制剂,在保证作物产量的同时,减少灌水和施肥,从而节约淡水资源,减轻农业面源污染,改善生态环境,提升作物品质^[2],其在节水和污染控制方面取得了较好的效果。研究表明,将土壤改良剂PAM以液体形态喷施在土表可以减轻土壤封闭程度,增加水分的有效入渗^[3],其和石膏、粉煤灰等共同施用还可以提高降雨入渗和抑制重金属淋洗^[4-5];保水剂SAP可提高沙子的持水时间和土壤孔隙度^[6-7],层施SAP后,保水剂层及保水剂下层土壤含水率会普遍增加^[8];而叶面抗蒸腾剂FA能提高春玉米硝酸还原酶活性和游离脯氨酸含量,降低蒸腾强度并促进玉米生长^[9]。

目前,国内外的研究学者多是采用单一化学制

剂调控技术^[10-12],将多种制剂集成应用于作物生产的试验研究还比较少^[13]。不同制剂可以通过作用于“土壤-作物”系统的不同部位发挥各自功效,其作用效果优于单种制剂的应用。然而,集成作用机制和应用模式都有待更为深入的研究。本文以密云雨养型玉米作为研究对象,选取3种典型化学制剂(土壤改良剂PAM、土壤保水剂SAP、叶面抗蒸腾剂FA)进行集成应用,采用正交试验方法,在生育期内对土壤水分、养分状况及作物产量等指标进行动态监测,通过对土壤水氮的调控以提高作物产量,减轻作物干旱胁迫和农业面源污染压力,探讨化学集成调控机制及最优应用模式,为旱地农业发展提供指导。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

本试验在北京市密云县高岭镇石匣小流域监测站标准农田进行,年均降水量661.3 mm,年均温10.8℃,0~100 cm土壤为砂质壤土(0~65 cm的砂粒、粉粒、粘粒质量分数分别为60.4%、26.6%、13%,65~100 cm的砂粒、粉粒、粘粒质量分数分别为78.4%、15.6%、6%),土壤的基本物理及化学性质如表1所示。2012年试验区降水量总计为561.1 mm。

收稿日期:2013-08-03 修回日期:2013-10-05

*国家自然科学基金资助项目(51379210)

作者简介:廖人宽,博士生,主要从事化学节水、防污技术研究,E-mail: nanming163@163.com

通讯作者:杨培岭,教授,主要从事农业水土资源、节水灌溉理论与技术研究,E-mail: yangpeiling@126.com

表1 土壤物理及化学性质
Tab.1 Soil physics and chemical properties

深度/ cm	田间 持水率	容积密度/ ($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	全氮质量 分数/%	铵态氮质量比/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	硝态氮质量比/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	总磷质量比/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)	有效磷质量比/ ($\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$)
0~65	0.197	1.37	0.075	34.4	1.93	751	7.68
65~100	0.142	1.75	0.045	44.5	3.12	499	8.29

1.2 试验材料与施用方式

供试 SAP 为聚丙烯酰胺-丙烯酸交联共聚物掺入凹凸棒粘土的有机-无机复合型土壤保水剂(山东省东营华业新材料有限公司提供),淡黄色固体颗粒,粒径 2.0~4.0 mm,于玉米播前利用开沟机与基肥一同施入,沟尺寸(宽×高)为 10 cm×30 cm;供试 PAM 为聚丙烯酰胺类表土改良剂(山东省东营华业新材料有限公司提供),白色颗粒,粒径为 0.5~1.0 mm,于 2012 年 6 月 5 日与干土混拌后在地表进行撒施,混拌质量比例为 1:2 000;供试 FA 为膜反射型抗蒸腾剂(新疆汇通旱地龙腐植酸有限责任公司提供),褐色液体,于玉米生育期全过程进行喷施,第 1 次喷施为 2012 年 6 月 5 日,之后每隔 15~20 d 喷 1 次;供试玉米品种为农大 86,采用当地习惯的均匀垄方式进行种植,2012 年 5 月 10 日播种,间苗后留苗量为 64 500 株/hm²;供试磷肥和钾肥采用磷酸二氢钾(P₂O₅质量分数为 52.2%,K₂O 质量分数为 34.6%),施用量为 180 kg/hm²,在播前施入作为基肥,供试氮肥采用尿素(纯氮质量分数为 46.4%),按照试验设计分别在播前和大喇叭口期按 1:4 进行施用。

1.3 试验方法

试验小区规格为 4 m×10 m,其中 2 m×10 m 的区域用于测试土壤含水率和养分含量,另外 2 m×10 m 的区域用于测试作物产量,各小区之间用土垄进行分隔。试验考察 PAM 施用量、FA 施用浓度(水与 FA 溶液质量比)、SAP 施用量、氮肥施用量这 4 个因素的作用效应,每个因素设 3 个水平,不考虑交互作用,选用 L₉(3⁴) 型正交表进行试验设计(表 2),共 9 个处理小区(分别以 P1~P9 表示),每个处理设置 2 个重复。全生育期内未进行灌溉,土壤水分天然降雨补充,各小区基肥、磷肥和钾肥施用量相同。

在玉米各主要生育期末进行取样,在小区 0~100 cm 土层内用土钻每隔 20 cm 取土样放入铝盒中用于测试含水率,剩余土壤混合均匀后放入自封袋,于 4℃ 冰箱中保存,用于土壤全氮和速效氮含量的测试。

1.4 测试方法

参照《土壤农化分析》^[14]进行测试,其中土壤质

表2 正交试验设计

Tab.2 Orthogonal experiment design

水平	因素			
	PAM 施用量/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	FA 施用浓度/ ($\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	SAP 施用量/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	氮肥施用量/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)
1	0	0	0	210
2	15	200	45	240
3	30	400	90	270

量含水率采用干燥法测试,土壤全氮采用重铬酸钾-硫酸消化法测试,土壤速效氮采用碱解扩散法测试。小区实收测产。

1.5 数据分析

采用 SPSS 15.0 进行统计性检验分析,其他分析及作图在 Microsoft Excel 2003 中完成。

2 结果与分析

2.1 玉米产量及最佳集成技术分析

玉米产量结果如表 3 所示。表中 A、B、C、D 为 PAM 施用量、FA 施用浓度、SAP 施用量、氮肥施用量的编码值。从表中可以看出,各小区产量由大到小为 P3、P2、P6、P8、P4、P5、P9、P7、P1,最大产量小区 P3 的产量比最小产量小区 P1 高出 21%。从试验结果的方差分析(表 4)中可以看出,因素 PAM 施用量的 $F=1.022$,因素 FA 施用浓度的 $F=10.557$,因素 SAP 施用量的 $F=7.151$,因素氮肥施用量的 $F=11.53$,其中 FA 施用浓度、SAP 施用量和氮肥施用量的 Sig. 值均小于 0.05,而 PAM 施用量的 Sig. 值大于 0.05,说明 FA 施用浓度、SAP 施用量和氮肥施

表3 玉米产量正交试验结果

Tab.3 Yield results

小区	A	B	C	D	产量/($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$)		
					重复 1	重复 2	均值
P1	1	1	1	1	1.09	1.06	1.07
P2	1	2	2	2	1.23	1.29	1.26
P3	1	3	3	3	1.31	1.30	1.30
P4	2	1	2	3	1.27	1.21	1.24
P5	2	2	3	1	1.22	1.24	1.23
P6	2	3	1	2	1.21	1.28	1.25
P7	3	1	3	2	1.25	1.20	1.23
P8	3	2	1	3	1.22	1.27	1.25
P9	3	3	2	1	1.23	1.23	1.23

表4 试验结果方差分析

Tab.4 Variance analysis of results

变异来源	SS	df	MS	F	Sig. 值
校正模型	0.062	8	0.008	7.565	0.003
截距	27.158	1	27.158	26424.438	0
PAM 施用量	0.002	2	0.001	1.022	0.398
FA 施用浓度	0.022	2	0.011	10.557	0.004
SAP 施用量	0.015	2	0.007	7.151	0.014
氮肥施用量	0.024	2	0.012	11.53	0.003
误差	0.009	9	0.001		
总计	27.23	18			
校正总计	0.071	17			

用量对玉米产量有显著影响 ($P < 0.05$), 而 PAM 施用量对玉米产量的影响不显著。

从 Duncan 多重比较(表5)可以进一步分析发现, PAM 施用量的3个水平之间差异不显著, FA 施用浓度3水平最好, SAP 施用量3水平最好, 氮肥施用量3水平最好, 从经济性考虑, PAM 施用量选用1水平, 这与正交试验中的最大产量组合 P3 ($A_1B_3C_3D_3$)一致, 为 1.30 kg/m^2 。

表5 各因素对产量影响的 Duncan 多重比较分析

Tab.5 Multiple comparison analysis of experimental factors

因素	N	水平	子集	
			1	2
PAM 施用量	6	1	1.213 3	
	6	3	1.233 3	
	6	2	1.238 3	
	Sig. 值	0.228		
FA 施用浓度	6	1	1.180 0	
	6	2		1.245 0
	6	3		1.260 0
	Sig. 值	1.000	0.439	
SAP 施用量	6	1	1.188 3	
	6	2		1.243 3
	6	3		1.253 3
	Sig. 值	1.000	0.602	
氮肥施用量	6	1	1.178 3	
	6	2		1.243 3
	6	3		1.263 3
	Sig. 值	1.000	0.308	

2.2 土壤含水率规律分析

玉米生育期根系层土壤含水率情况如表6所示。从表中差异显著性检验中可以看出, 集成技术对土壤含水率影响显著 ($P < 0.05$) 的时期是7月8日(拔节期末)、8月1日(喇叭口期末)、8月25日(抽雄期末), 这3个时期各小区含水率相对变化幅度为7%~64%, 而6月25日(苗期末)、9月15日(灌浆期末)和10月4日(成熟期末)3个时期没有

发现集成技术造成显著性差异, 这3个时期各处理小区含水率变化幅度为10%~30%。相较于其他小区, P3小区的土壤含水率在各个主要生育期均处于较高水平, 从整个生育期的平均水平来看, P3小区的土壤含水率也最高, 达到了0.12, 为作物的生长提供了较为充足的水分条件, 有利于作物产量的增加。

表6 根系层土壤平均含水率

Tab.6 Average mass water content of soil root layer

小区	6月	7月	8月	8月	9月	10月	均值
	25日	8日	1日	25日	15日	5日	
P1	0.10 ^{ab}	0.08 ^b	0.10 ^c	0.08 ^{de}	0.09 ^{ab}	0.09 ^{abc}	0.09
P2	0.11 ^a	0.08 ^b	0.14 ^{ab}	0.10 ^{abc}	0.09 ^{ab}	0.11 ^a	0.11
P3	0.11 ^a	0.12 ^a	0.15 ^a	0.12 ^a	0.10 ^a	0.11 ^a	0.12
P4	0.11 ^a	0.08 ^b	0.12 ^{abcd}	0.09 ^{bcde}	0.10 ^a	0.11 ^a	0.10
P5	0.11 ^a	0.10 ^{ab}	0.14 ^{ab}	0.09 ^{bcde}	0.09 ^{ab}	0.10 ^{ab}	0.10
P6	0.11 ^a	0.07 ^{bc}	0.13 ^{abc}	0.11 ^{ab}	0.08 ^{abc}	0.11 ^a	0.10
P7	0.10 ^{ab}	0.09 ^{abc}	0.12 ^{abcd}	0.09 ^{bcde}	0.08 ^{abc}	0.11 ^a	0.10
P8	0.10 ^{ab}	0.08 ^b	0.10 ^c	0.07 ^e	0.08 ^{abc}	0.11 ^a	0.09
P9	0.10 ^{ab}	0.07 ^{bc}	0.10 ^c	0.08 ^{de}	0.08 ^{abc}	0.10 ^{ab}	0.09

注: 同一列中小写字母不同者表示差异达到0.05显著水平, 相同者表示差异未达到显著水平, 下同。

通过对玉米生育期土壤含水率进行方差分析(表7)后发现, PAM (Sig. 值0.002)、SAP (Sig. 值0.015)和氮肥 (Sig. 值0.011)处理对土壤平均含水率的影响显著 ($P < 0.05$), 而 FA (Sig. 值0.228)处理对含水率的影响并不显著, 这是因为 PAM 和 SAP 都是直接作用于土壤, PAM 通过改善表土结构状况促进降雨的入渗, 而 SAP 通过对水分的反复吸持可以减少水分深层渗漏, 2种制剂均可以对土壤含水率产生直接影响, 氮肥通过水肥耦合效应对土壤含水率产生一定的影响, 可提高土壤储水含量, 而 FA 是通过降低作物奢侈蒸腾的作用来减少土壤水分的消耗, 其作用并不十分明显。

表7 试验结果方差分析

Tab.7 Variance analysis of results

变异来源	SS	df	MS	F	Sig. 值
校正模型	0.001	8	0.000	7.375	0.004
截距	0.172	1	0.172	7744.000	0.000
PAM 施用量	0.001	2	0.000	13.000	0.002
FA 施用浓度	7.78×10^{-5}	2	3.89×10^{-5}	1.750	0.228
SAP 施用量	0.000	2	0.000	7.000	0.015
氮肥施用量	0.000	2	0.000	7.750	0.011
误差	0.000	9	2.22×10^{-5}		
总计	0.174	18			
校正总计	0.002	17			

2.3 土壤氮素养分含量规律分析

玉米生育期根系层土壤全氮、速效氮含量情况

分别如表8和表9所示。从表中差异显著性检验中可以看出,集成技术对土壤全氮含量影响显著($P < 0.05$)的时期是7月8日(拔节期末)、8月1日(喇叭口期末)、9月15日(灌浆期末)、10月4日(成熟期末),而6月25日(苗期末)和8月25日(抽雄期末)这2个时期没有发现集成技术造成显著性差异。从生育期全氮平均质量比来看,P3小区为0.54 g/kg,是9个试验小区中最小的,比其他小区低3.7%~9.3%。而从速效氮平均质量比来看,P3小区是9个小区中最大的,达到45.44 mg/kg,比其他小区高13%~23%。从数据中可以分析发现,P3小区土壤较高的速效氮含量有利于作物对氮素的吸收利用,促进了氮素更多地合成干物质,土壤中氮素利用充分,使得土壤全氮含量小于其他小区。

表8 根系层土壤全氮平均质量比

Tab.8 Average mass total nitrogen content of soil root layer g/kg

小区	6月	7月	8月	8月	9月	10月	均值
	25日	8日	1日	25日	15日	5日	
P1	0.63 ^{abd}	0.56 ^{abc}	0.69 ^{bcd}	0.56 ^{ac}	0.52 ^{acd}	0.50 ^{ab}	0.57
P2	0.67 ^a	0.58 ^{ab}	0.74 ^{ab}	0.56 ^{ac}	0.52 ^{acd}	0.46 ^{abc}	0.59
P3	0.63 ^{abd}	0.47 ^d	0.78 ^a	0.52 ^{acd}	0.45 ^d	0.39 ^{bc}	0.54
P4	0.62 ^{acd}	0.61 ^a	0.68 ^{bd}	0.56 ^{ac}	0.57 ^{ac}	0.54 ^a	0.59
P5	0.66 ^{ab}	0.61 ^a	0.78 ^a	0.53 ^{abd}	0.58 ^{ab}	0.42 ^{abcd}	0.59
P6	0.64 ^{abc}	0.56 ^{abc}	0.76 ^{ac}	0.59 ^a	0.53 ^{abcd}	0.46 ^{abc}	0.59
P7	0.64 ^{abc}	0.53 ^{bcd}	0.65 ^{de}	0.57 ^{ab}	0.60 ^a	0.44 ^{abd}	0.57
P8	0.65 ^{ac}	0.56 ^{abc}	0.68 ^{bd}	0.55 ^{ad}	0.45 ^d	0.49 ^{ac}	0.56
P9	0.64 ^{abc}	0.58 ^{ab}	0.64 ^{def}	0.57 ^{ab}	0.52 ^{acd}	0.48 ^{acd}	0.57

表9 根系层土壤速效氮平均质量比

Tab.9 Average mass available nitrogen content of soil root layer mg/kg

小区	6月	7月	8月	8月	9月	10月	均值
	25日	8日	1日	25日	15日	5日	
P1	36.85 ^{bd}	35.45 ^{bc}	44.55 ^{cdef}	34.95 ^{ce}	35.95 ^{cdf}	35.15 ^{cd}	37.15
P2	35.10 ^{bcd}	34.05 ^c	50.75 ^{ab}	37.00 ^{bc}	37.20 ^{cde}	36.80 ^{bd}	38.48
P3	44.10 ^a	41.15 ^{ab}	55.30 ^a	43.55 ^a	44.15 ^a	44.40 ^{ab}	45.44
P4	33.50 ^{bce}	37.40 ^{ac}	47.55 ^{bc}	35.90 ^{bcd}	39.00 ^{ad}	40.50 ^{bc}	38.98
P5	32.55 ^{bf}	32.70 ^{cd}	47.10 ^{bc}	38.60 ^{ac}	40.25 ^{ac}	49.90 ^a	40.18
P6	33.15 ^{bde}	35.80 ^{bcd}	47.25 ^{bd}	41.80 ^{ab}	35.25 ^{cdef}	34.90 ^{cde}	38.03
P7	37.55 ^{bc}	41.95 ^a	42.45 ^{cdefg}	35.10 ^{cd}	34.90 ^{cdg}	29.95 ^{de}	36.98
P8	38.55 ^{ab}	41.15 ^{ab}	45.80 ^{bf}	33.80 ^{cdef}	38.00 ^{cd}	29.55 ^{def}	37.81
P9	36.50 ^{bc}	33.25 ^{cde}	41.20 ^f	33.90 ^{cde}	44.05 ^{ab}	32.75 ^{cdef}	36.94

玉米生育期土壤全氮和速效氮含量的方差分析如表10和表11所示。就全氮而言,PAM、FA、SAP和氮肥这4个因素对土壤全氮含量均产生显著影响($P < 0.05$);就速效氮而言,PAM、SAP和氮肥这3个因素对土壤速效氮含量产生显著影响($P < 0.05$),其中PAM和SAP通过作用于土壤结构影响

土壤速效氮,施肥通过直接补充氮素影响速效氮含量,FA主要起调控作物生长的作用,其对土壤速效氮的影响并不显著。

表10 土壤全氮试验结果方差分析

Tab.10 Variance analysis of total nitrogen results

变异来源	SS	df	MS	F	Sig. 值
校正模型	0.005	8	0.001	8.217	0.002
截距	5.974	1	5.974	71 691.267	0.000
PAM 施用量	0.003	2	0.001	16.067	0.001
FA 施用浓度	0.001	2	0.000	4.867	0.037
SAP 施用量	0.001	2	0.000	5.067	0.034
氮肥施用量	0.001	2	0.001	6.867	0.015
误差	0.001	9	8.33×10^{-5}		
总计	5.981	18			
校正总计	0.006	17			

表11 土壤速效氮试验结果方差分析

Tab.11 Variance analysis of available nitrogen results

变异来源	SS	df	MS	F	Sig. 值
校正模型	114.440	8	14.305	5.210	0.012
截距	27 220.667	1	27 220.667	9 913.846	0.000
PAM 施用量	29.444	2	14.722	5.362	0.029
FA 施用浓度	17.823	2	8.912	3.246	0.087
SAP 施用量	36.035	2	18.017	6.562	0.017
氮肥施用量	31.138	2	15.569	5.670	0.025
误差	24.712	9	2.746		
总计	27 359.818	18			
校正总计	139.151	17			

3 讨论

本文联合应用3种制剂,通过在土壤表面使用PAM来改善表土结构状况,促进水分入渗,在土壤根层施入SAP以保蓄水肥,在作物叶面喷施FA来提升作物生理机能,促进作物对水肥的吸收利用。集成技术提升了水肥利用效率,增加了作物产量,本文中P3(A₁B₃C₃D₃)小区相较于未施加制剂的P1小区,产量提升了21%,与庄文化等^[15]在冬小麦上单独应用SAP增产10.14%和韩国等^[16]在苹果上单独应用FA增产4.88%~7.32%相比,产量提高更多,可见化学集成调控效果明显。此外,氮肥对作物产量也产生显著性影响,且施肥量越大产量越高,但比较同为270 kg/hm²施氮条件下的P3、P4、P8这3个小区产量可以发现,P3小区仍增产4.7%~5.2%,说明P3小区3种制剂的应用模式对于促进作物产量更为有利。

虽然集成技术提高了作物产量,但显著性检验表明3种制剂对作物产量及土壤水氮的影响效应并不一致,不同制剂所产生的作用效应有所区别,其中

PAM 和 SAP 直接作用于土壤,对于土壤含水率和速效氮影响明显,FA 作用于作物叶面,则对作物产量形成和氮素利用的影响更大。在本文的化学制剂施用量水平下,从 Duncan 多重比较来看,并不是用量越多产量越高,其中 PAM 施用水平对产量的影响不显著,SAP 用量为越大越好,FA 的 400 倍液低浓度施用水平要优于 200 倍液高浓度施用水平。这可能是因为 SAP 直接作用于作物根系,可将水氮保蓄在根层区供作物持续利用,对作物的生长促进作用明显,且当干旱胁迫发生时,SAP 可以提高作物对水分的利用效率^[17-18];而 FA 一方面起到抑制作物奢侈蒸腾的作用,另一方面起到提升作物生理机能的作用,当 FA 用量较大时,其对于作物蒸腾作用抑制过大,可能会影响其光合作用,进而减少作物产量,就本文而言,400 倍液的 FA 施用量能够更好地促进作物产量的形成。

4 结论

(1)4 个试验因素对土壤水分的影响效应不一致,PAM、SAP 和氮肥对土壤含水率的影响显著,而 FA 的影响不显著,P3 小区的集成处理模式提供的土壤质量含水率最为充足,平均为 0.12。

(2)4 个试验因素均显著影响土壤全氮含量,就速效氮而言,仅 PAM、SAP 和氮肥产生显著影响,P3 小区速效态氮素平均质量比为 45.44 mg/kg,是 9 个小区中最高的,其有利于作物对氮素养分的吸收利用。

(3)在本试验条件下,SAP 90 kg/hm²,FA 400 倍液的集成处理与施尿素量 270 kg/hm²可以得到最大玉米产量 1.30 kg/m²,相较于未施加化控制剂的对照组,提高产量达 21%。

参 考 文 献

- 张义丰,王又丰,刘录祥,等. 中国北方旱地农业研究进展与思考[J]. 地理研究, 2002, 21(3): 305-312.
Zhang Yifeng, Wang Youfeng, Liu Luxiang. Research progress on arid-land agriculture in northern China[J]. Geographical Research, 2002, 21(3): 305-312. (in Chinese)
- 杨培岭,廖人宽,任树梅,等. 化学调控技术在旱地水肥利用中的应用进展[J]. 农业机械学报, 2013, 44(6): 100-109.
Yang Peiling, Liao Renkuan, Ren Shumei, et al. Application of chemical regulating technology for utilization of water and fertilizer in dry-land agriculture[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(6): 100-109. (in Chinese)
- 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(5): 1786-1791.
- Yu J, Lei T W, Shainberg I, et al. Infiltration and erosion in soils treated with dry PAM and gypsum[J]. Soil Science Society of America Journal, 2003, 67(2): 630-636.
- 赵智,唐泽军,杨凯,等. PAM 与粉煤灰改良沙土中重金属的迁移和富集规律[J]. 农业机械学报, 2013, 44(7): 83-89.
Zhao Zhi, Tang Zejun, Yang Kai, et al. Transportation and accumulation in sandy soil amended by fly ash and PAM[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(7): 83-89. (in Chinese)
- Asghar A, Samad Y A, Hashaikheh R. Cellulose/PEO blends with enhanced water absorption and retention functionality[J]. Journal of Applied Polymer Science, 2012, 125(3): 2121-2127.
- 韩玉国,范云涛,赵鲁,等. 施入保水剂土壤吸水膨胀试验[J]. 农业机械学报, 2012, 43(11): 74-79.
Han Yuguo, Fan Yuntao, Zhao Lu, et al. Experiment on water-swelling property of soil with application of water retention agent[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43(11): 74-79. (in Chinese)
- 白文波,宋吉青,李茂松,等. 保水剂对土壤水分垂直入渗特征的影响[J]. 农业工程学报, 2009, 25(2): 18-23.
Bai Wenbo, Song Jiqing, Li Maosong, et al. Effect of super absorbent polymer on vertical infiltration characteristics of soil water[J]. Transactions of the CSAE, 2009, 25(2): 18-23. (in Chinese)
- 李茂松,李森,张述义,等. 一种新型 FA 抗蒸腾剂对春玉米生理调节作用的研究[J]. 中国农业科学, 2003, 36(11): 1266-1271.
Li Maosong, Li Sen, Zhang Shuyi, et al. Physiological effect of a new FA antitranspirant on maize[J]. Scientia Agricultura Sinica, 2003, 36(11): 1266-1271. (in Chinese)
- 岳征文,王百田,王红柳,等. 复合营养长效保肥保水剂应用及其缓释节肥效果[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 56-62.
Yue Zhengwen, Wang Baitian, Wang Hongliu, et al. Application of nutrient and super absorbent polymer compound and effect of fertilizer slow-release[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(8): 56-62. (in Chinese)
- Wang A P, Li F H, Yang S M. Effect of polyacrylamide application on runoff, erosion, and soil nutrient loss under simulated rainfall[J]. Pedosphere, 2011, 21(5): 628-638.
- Anjum S A, Wang L, Farooq M, et al. Fulvic acid application improves the maize performance under well-watered and drought conditions[J]. Journal of Agronomy and Crop Science, 2011, 197(6): 409-417.
- 廖人宽,杨培岭,任树梅,等. PAM 和 SAP 防治库区坡地肥料污染试验[J]. 农业机械学报, 2013, 44(7): 113-120.
Liao Renkuan, Yang Peiling, Ren Shumei, et al. PAM and SAP application for reservoir area slope manure pollution control[J].

- Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2013, 44(7): 113 - 120. (in Chinese)
- 14 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000: 25 - 109.
- 15 庄文化, 吴普特, 冯浩, 等. 土壤中施用聚丙烯酸钠保水剂对冬小麦生长及产量影响[J]. 农业工程学报, 2008, 24(5): 37 - 41.
- Zhuang Wenhua, Wu Pute, Feng Hao, et al. Effects of super absorbent polyer of sodium polyacrylate used in soil on the growth and yield of winter wheat[J]. Transactions of the CSAE, 2008, 24(5): 37 - 41. (in Chinese)
- 16 韩玉国, 任树梅, 李云开, 等. 黄腐酸 FA 旱地龙在苹果节水生产中的应用效果研究[J]. 农业工程学报, 2004, 20(6): 93 - 97.
- Han Yuguo, Ren Shumei, Li Yunkai, et al. Experimental study on effect of FAhandilong on water saving and production of apple tree in the rural areas in Beijing[J]. Transactions of the CSAE, 2004, 20(6): 93 - 97. (in Chinese)
- 17 岳征文, 王百田, 王红柳, 等. 复合营养长效保肥保水剂应用及其缓释节肥效果[J]. 农业工程学报, 2011, 27(8): 56 - 62.
- Yue Zhengwen, Wang Baitian, Wang Hongliu, et al. Application of nutrient and super absorbent polymer compound and effect of fertilizer slow-release[J]. Transactions of the CSAE, 2011, 27(8): 56 - 62. (in Chinese)
- 18 杨永辉, 吴普特, 武继承, 等. 复水前后冬小麦光合生理特征对保水剂用量的响应[J]. 农业机械学报, 2011, 42(7): 116 - 123.
- Yang Yonghui, Wu Pute, Wu Jicheng, et al. Response of photosynthetic parameters of winter wheat before and after re-watering to different rates of water-retaining agent[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2011, 42(7): 116 - 123. (in Chinese)

Effects of Chemical Integrated Control Technology on Soil Water, Soil Nitrogen and Maize Yield

Liao Renkuan Zhang Zhicheng Ren Shumei Cheng Chuangsheng Yang Peiling
(College of Water Resources and Civil Engineering, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: The rain-fed maize was selected as the research object. Three typical chemical agents (Polyacrylamide, Superabsorbent polymer and Fulvic acid) were combined to apply on maize production. The effects of chemical integrated control technology on the soil water, nitrogen and maize yield were researched, and the optimal chemical integrated application pattern was explored. The results indicated that the effect of three chemical agents on soil water, nitrogen and maize yield was inconsistent. PAM and SAP had significant effect on soil water and available nitrogen, while PAM, SAP and FA were combined to have effect on total nitrogen and maize yield. The largest maize yield was gotten with FA 400 times liquid and SAP 90 kg/hm² with 270 kg/hm² urea application, meanwhile, the available nitrogen and average soil water were 5.44 mg/kg and 0.12 respectively, which were bigger than any other experimental treatment. The higher soil water and available nitrogen were beneficial for plant to uptake water and nitrogen. Compared with the treatment without chemical agents, the maximize improvement for maize yield could be able to 21% after chemical integrated control technology application.

Key words: Maize Polyacrylamide Superabsorbent polymer Fulvic acid Yield