

干旱半干旱区粮食作物 高效节水灌溉技术应用

龚时宏

中国水利水电科学研究院
大禹节水研究院

王建东

中国农科院可持续发展研究所

林 萍

国家节水灌溉新疆工程技术研究中心

程满金

内蒙古自治区水科院

二〇二二年七月



主要内容



一、粮食作物是否可采用高效节水灌溉



二、粮食作物高效节水灌溉实践



三、粮食作物高效节水灌溉应关注的一些问题

一、粮食作物是否可采用高效节水灌溉



1.1 必要性

- 国家实行最严格水资源管理制度：到2030年控制用水总量为7000亿方，提高农田水利用效率达到0.6，水功能区水质达标率提高到95%以上；
- 习总书记在宁夏指出“农业要节水化”
- 2021年习总书记指出“确保国家粮食安全，把中国人饭碗牢牢端在自己手中”，2022年又指出“粮食安全是国之大者”“要未雨绸缪，始终绷紧粮食安全这根弦”

启示：如何在水资源有限条件下保障国家粮食安全

1.2 可行性

➤ 高效节水灌溉技术在粮食作物应用上已开展了广泛的应用示范，“九五”即列入国家攻关计划，特别通过“十二五”、“十三五”“东北节水增粮”“华北节水压采”“西北节水增效”行动，高效节水灌溉在粮食作物上应用越来越多：

小麦：喷灌（管道式、大中型机组）、滴灌、管灌

玉米：滴灌、喷灌（管道式、大中型机组）、管灌

土豆：滴灌、喷灌（大中型机组）

水稻：滴灌、喷灌（大中型机组）

实践表明，节水灌溉对国家战略有重要支撑作用：

- ◆推动藏粮于地藏粮于技-节水灌溉是重要支撑（有收无收在于水、多收少收在水肥）
- ◆推动智慧农业自主创新-灌溉设备是重要组成部分（薄弱环节，农业全程机械化的“最后一公里”）
- ◆统筹推进山水林田湖草系统治理-节水灌溉是重要措施（节水、减污、生态治理，是“一控二减”基础条件）
- ◆下大力气治理白色污染-节水灌溉是希望所在（滴灌是调整水肥气热的成功技术）

二、粮食作物高效节水灌溉实践



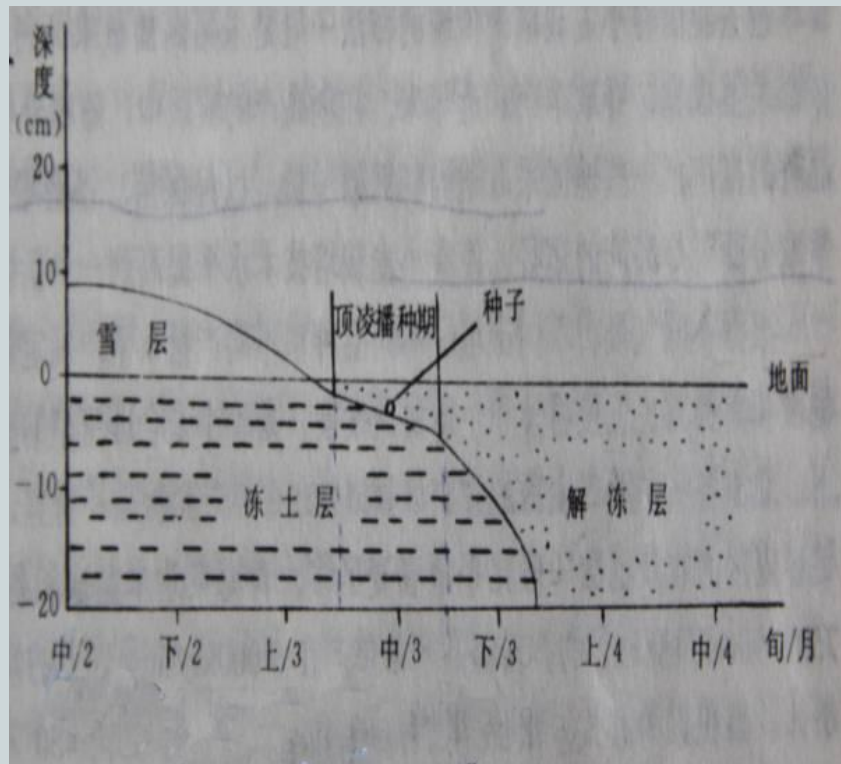
2.1 新疆粮食作物应用

小麦

2019年，新疆种植滴灌小麦超过200万亩。近年发展迅速，143团小麦种植面积从2019年的4000亩增加到2021年的3.2万亩，单产从468公斤增加到724公斤，平均亩收益突破1000元，成为兵团小麦高产示范单位。



小麦

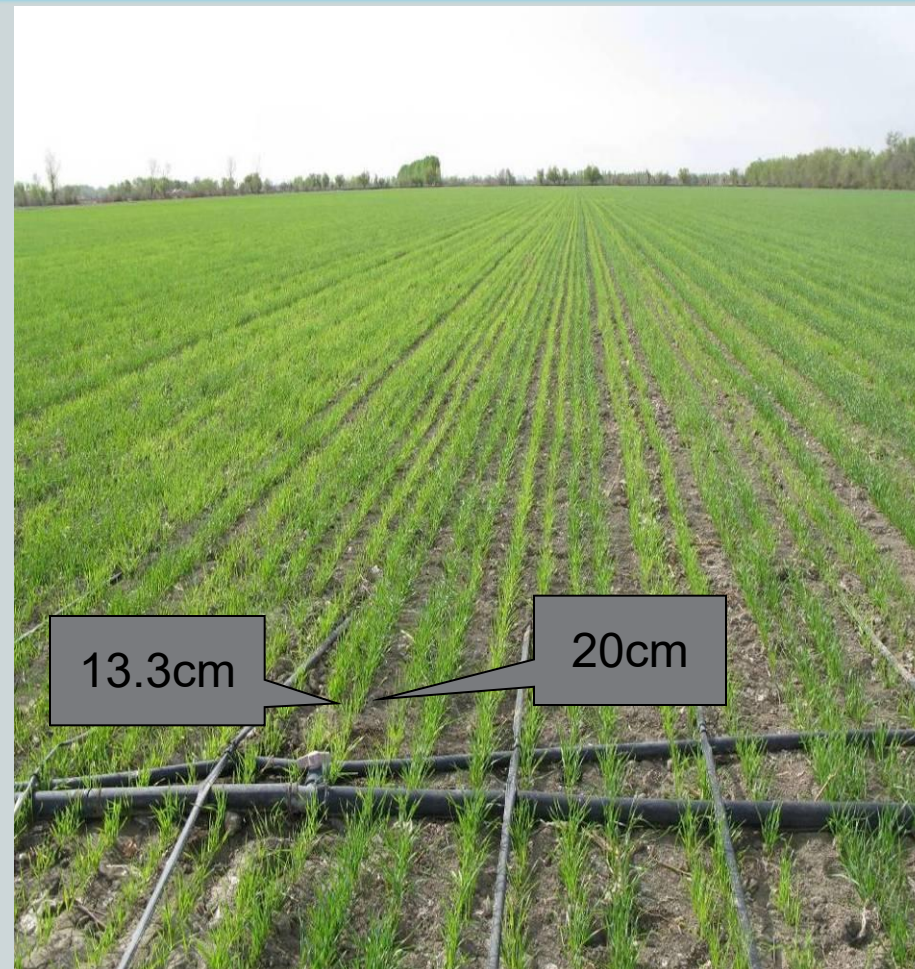


沟灌：破雪抢墒顶凌播种，
受气候灾害影响大

小麦



沟灌：行距15cm，出苗率75%，基本苗30-35万株/亩



滴灌：无埂，出苗率90%以上，基本苗38-42万株/亩

小麦



- 农八师143团16连，采用了24行条播铺管一体机15厘米等行距播种，实施水肥一体化高效节水滴灌栽培技术。2022年7月2日，经国家小麦高产创建验收专家组现场测算，高产示范田亩产达到842.89公斤。
- 农六师108团三连配合种肥分离技术、精准施肥技术等，同在2022年7月，经专家测产，高产田达到亩产867.87公斤。

小麦

兵团第八师148团160亩滴灌小麦与沟灌小麦收益对比表（2019）

小 麦	常规沟灌	滴灌	增减幅（%）
亩产量（Kg）	340.0	583.0	71.4
亩产值（元）	770.0	1256.0	63.11
亩成本（元）	581.0	630.1	8.3
亩水方（m ² ）	450.0	280.0	-37.7
投产比	1.32	1.99	50.7
水产比	0.76	2.08	173.97

小麦

按每公斤小麦产出计算各项消耗分析（2019）

指标	常规灌溉	滴灌	节约%
耗水 (m ³ /kg)	1.32	0.48	-63.64%
耗肥 (kg/kg)	0.4505	0.2626	-41.71%
耗种子 (kg/kg)	0.2165	0.1153	-46.74%
机耕费(含收割)	0.3471	0.1853	-46.61%
人工费用 (元/kg)	0.4122	0.1126	-72.68%
纯收益 (元/kg)	0.5535	1.0736	93.96%
政府补贴	0.4647	0.3301	-28.97%

滴灌小麦比沟灌小麦每亩少用水 170方/亩，节水37.7%，每亩增加产量243公斤/亩，增产71.4%，增效 **437.7元/亩**

玉米

2019年，新疆滴灌玉米种植面积超过**500万亩**，并逐年在扩大。



玉米



沟灌：播种密度4000-4500株/亩



滴灌：播种密度5000-6000株/亩

玉米



2009年农四师62团的230亩滴灌玉米，亩产达到1362.5公斤/亩。

2013年，兵团奇台农场滴灌玉米最高单产为1511.74公斤/亩。

玉米

滴灌玉米与沟灌玉米收益对比表（2019）

新疆玉米	常规沟灌	滴灌	增减幅（%）
亩产量（Kg）	650.0	850.0	30.77
亩产值（元）	832.0	1088.0	30.77
亩成本（元）	741.0	779.9	5.25
亩水方（m ² ）	420.0	300.0	-28.57
投产比	1.12	1.40	24.25
水产比	1.55	2.83	83.08

滴灌玉米比常规灌玉米每亩少用水 120方/亩，节水28.57%，
每亩增加产量200公斤/亩，增产30.77%，增效 **217.1元/亩**

马铃薯



膜下滴灌技术平均亩产达3吨，比沟灌亩增产1吨多，
增产率达50%以上。兵团104团平均亩产达3.5吨以上。

马铃薯

滴灌马铃薯与沟灌马铃薯收益对比表

新疆马铃薯	常规沟灌	滴灌	增减幅 (%)
亩产量 (T)	2.0	3.0	50
亩产值 (元)	1000.0	1500.0	50
亩成本 (元)	800.0	860.	7.5
亩水方 (m ²)	450.0	300.0	-33.3
投产比	2.25	3.14	28.34
水产比	4.12	9.00	118.45

滴灌比沟灌每亩少用水150方/亩，节水33.3%，每亩增加产量1吨/亩，增产50%，**增效 500元/亩。**

水稻

◆天业创制膜下滴灌水稻节水栽培技术，突破水稻传统“水作”种植方式，获得国家发明专利。



水稻



膜下滴灌水稻

节水65%，每公顷产量7.5吨。最高产量11.08t/公顷；平均亩增效170元以上。

水稻

昌吉滨湖镇膜下滴灌水稻效益分析（2013） 注：稻谷价格按3.0元/kg计算

名称	规格	用量 (kg/hm ²)	单价 (元)	造价 (元/hm ²)
滴灌带	1.8L/h流量	11250m	0.1	1125
种子	T-04	120	15.0	1800
化肥	有机肥+钾肥+尿素	1950+300+750		4500
地膜	1.6m宽	67.5	12.0	810
人工				1500
机力费	犁、耙、播			1350
除草剂		2.25	300	675
水、电费				2100
收割费				975
成本合计				14835
hm ² 收益				9915

2013年，水稻膜下滴灌栽培技术在新疆昌吉州示范，平均单产8.25t/hm²，高产地段10.56 t/hm²。最终实现节水60%、省肥40%、提高人均管理定额3倍、提高土地利用率10%等指标。

2.2 东北节水增粮

- **寒地玉米膜下滴灌**（黑龙江西部和吉林西部）
- **光水双高效玉米膜下滴灌**（辽宁西部和内蒙东部）
- **覆盖免耕全程机械化玉米喷灌**（黑龙江西部）
- **盐碱地大型喷灌玉米**（内蒙古东部）
- **露地玉米浅埋滴灌**（内蒙古东部和辽宁西部）

(1) 半干旱寒地玉米膜下滴灌

问题：春季低温、降水不足、蒸发量大

目标：增温、保墒、减少残膜污染，提高水效、肥效和产量

水肥一体化技术

水肥耦合方案：按需供给水肥，N-15kg/亩，P-6kg/亩，K-7kg/亩，灌水量27m³/亩，灌水4次，水分生产效率2.6~4.1kg/m³。

关键技术

阶段覆膜综合技术

滴灌模式：大垄一垄一膜一带，垄距130cm，垄上行距45cm，垄间行距85cm，株距23cm，密度67500株/hm²。采用一体化播种技术，完成施肥、镇压、打药、铺带、覆膜播种、压土作业。膜上播种免人工放苗、防风压土环节，3~5亩/h。

覆膜管理：适宜覆膜时长播种至出苗后的40d，配套选用T40-60可降解膜，日均增温1.2度，增加积温80度以上。

配套技术

高水效玉米品种

京科968、郑单958、天农9、龙单58、平安14、铁单20、龙育2等，收获期籽实含水量小于26%。

地下水双控管理

控制性关键水位，肇州县4个控制分区，二井镇上红线水位186 m，下红线水位175m，蓝线水位180.7m。

管理运行模式

农民用水协会（个人承包）+ 土地分散经营或公司、大户（私人农场）管理模式。



关键技术	解决的难题	示范面积/适用条件	应用效果
阶段覆膜综合技术	(1) 春季地温低，蒸发量大，玉米发芽出苗慢 (2) 有效积温不足，生长期短 (3) 地膜老化回收难，地膜污染 (4) 夏季降雨利用率低	示范应用5000亩，辐射应用4万亩	(1) 增加土壤积温90℃以上 (2) 提高农田蓄水保墒能力，灌溉水利用率91%以上
水肥一体化技术	(1) 玉米生长后期追肥难 (2) 分段施肥费工时，一次性施肥肥料利用率低，按需精量灌溉 (3) 全生育期水肥按需管控	黑龙江西部春季降水和积温不足等寒区	(3) 玉米增产20%以上

(2) 半干旱光水双高效玉米膜下滴灌

问题：水分光热利用不充分，水肥利用不均衡等

目标：增温保墒，提高水效、光效、肥效和产量

关键技术

工程管理技术

水肥设备：智能灌溉控制设备、水肥药一体化设备、残膜回收机
配套管网：支管63mmPE管网（400KPa），毛管铺设长度90~110m，毛管布置方式：一膜一带双行玉米。

水肥一体化技术

水肥耦合方案：全生育期灌溉6~8次，灌水量80~120m³/亩，拔节、抽雄和灌浆期随水施尿素12kg/亩、20kg/亩和18kg/亩；NPK平衡施肥方案为尿素38kg/亩、磷酸二铵8kg/亩、硫酸钾为16kg/亩。

配套技术

高效种植模式

辽单588、辽单1211、辽单575、豫丰508；密度：4800~5200株/亩，“大垄双行”覆膜种植模式。

耕整地

秋季间隔交替深松-镇压，深松深度25~30cm，春季旋耕后播种、配套耕整地机具。

残膜防控

应用降解地膜，残膜回收机具配套人工捡拾，回收率达到90%以上。



关键技术	解决的难题	示范面积/适用条件	应用效果
<p>工程管理技术与水肥一体化技术</p>	<p>(1) 光热水分利用不充分、水肥利用不均衡 (2) 夏季降雨利用率低 (3) 残膜回收率低</p>	<p>示范应用1.5万亩，辐射应用10万亩</p> <p>辽宁西部和内蒙古东部春旱严重，春季降水和积温不足等地区</p>	<p>(1) 水分利用效率提高23%，光辐射利用效率提高9.1% (2) 节肥10%，残膜回收率提高6.3% (3) 工程投资减少5%</p>



(3) 半干旱玉米喷灌覆盖免耕全程机械化

问题：春季蒸发量大，散墒严重，土壤板结

目标：保墒省工，提高工效和产量，保护土壤生产力

关键技术

水肥配施喷灌
管理技术

水肥配施指标： N-15~18kg/亩， P-6kg/亩， K-7kg/亩， 灌水量47m³/亩， 雨前施肥或施肥后灌溉。

秸秆覆盖免耕
全程机械化技
术

全程机械化施肥： 免耕精量播种， 密度4500株/亩~4600株/亩， 行距65cm， 株距22.7~22.2cm， 播种量2~2.5kg/亩， 播深3~5cm， 机械化深松侧深施肥， 深度15cm以上， 机械化收获与秸秆还田。

配套技术

高水效玉米品种	京科968、郑单958、天农9、龙单58、平安14、铁单20、龙育2等，收获期籽实含水量小于26%。
间作种植栽培	杂粮玉米间作：均匀小垄垄距65cm，垄高15~18cm；玉米矮棵杂粮间作：一般90~100条小垄玉米、间杂6-8垄矮棵杂粮。
地下水双控管理	控制性关键水位：肇州县4个控制分区，二井镇上红线水位为186 m，下红线水位175m，蓝线水位为180.7m。
管理运行模式	农民用水协会（个人承包）+ 土地分散经营或公司、大户（私人农场）管理模式。

关键技术	解决的难题	示范面积/ 适用条件	应用效果
高效喷灌 技术	(1) 季节性干旱缺水 (2) 地面灌溉效率低 (3) 灌溉水利用率低	示范应用5000亩， 辐射应用94万亩	(1) 土壤含水量提高15%以上 (2) 玉米增产10%以上 (3) 减少耕地机械作业次数， 有利于保护土壤结构
秸秆覆盖 免耕技术	(1) 春耕整地散失墒快 (2) 多次机械作业成本高、土壤板结严重 (3) 土壤肥力、有机质 含量持续降低	黑龙江西部春季 散墒严重、降水 不足，周期性深 松耕整作等地区	(1) 土壤含水量提高15%以上 (2) 玉米增产10%以上 (3) 减少耕地机械作业次数， 有利于保护土壤结构

(4) 半干旱露地玉米浅埋滴灌

问题：残膜污染，雨水利用效率低，生产成本高

目标：提高降雨有效利用率，减少地膜投入和生产成本

工程管理技术

水肥设备：玉米浅埋滴灌铺带播种一体机；水肥药一体化设备
滴灌带浅埋：滴灌带埋设深度1~3cm，一次完成播种、施肥、铺带一体化作业，大垄85cm，小垄35cm；
配套管网：支管轮灌，毛管铺设长度100~120m；

水肥一体化技术

水肥耦合方案：基施氮、磷、钾均为4.25kg/亩，追施氮13.8kg/亩；
枯水年灌水9次，灌水量210m³/亩；平水年灌水7次，灌水量148m³/亩；
丰水年灌水5次，灌水量90m³/亩。

关键技术

配套技术

农艺栽培

玉米适宜种植宽窄行行距：85cm:35cm，玉米适宜种植密度：4000株/亩-4500株/亩。

草害防治

小垄草害需在玉米3叶期-5叶期、6叶期-7叶期做好草害防治。

中耕

中耕机从单铧犁改进为双铧犁，中耕效率提高50%。

病虫害防治

引进高架式喷药机和无人机，加强玉米生长后期病虫害防治意识。



关键技术	解决的难题	示范面积/ 适用条件	应用效果
工程管理技 术与 水肥一体 化技术	(1) 残膜污染 (2) 节省地膜投入	示范应用1万亩，辐射 应用50万亩 内蒙古东部和辽宁西部 春旱严重，春季降水和 积温不足等地区	(1) 减少地膜和残膜回收投入50元/亩 (2) 提高农业机械效率，播种从30亩/d提高到60亩/d (3) 降雨利用率从19%提高到58%

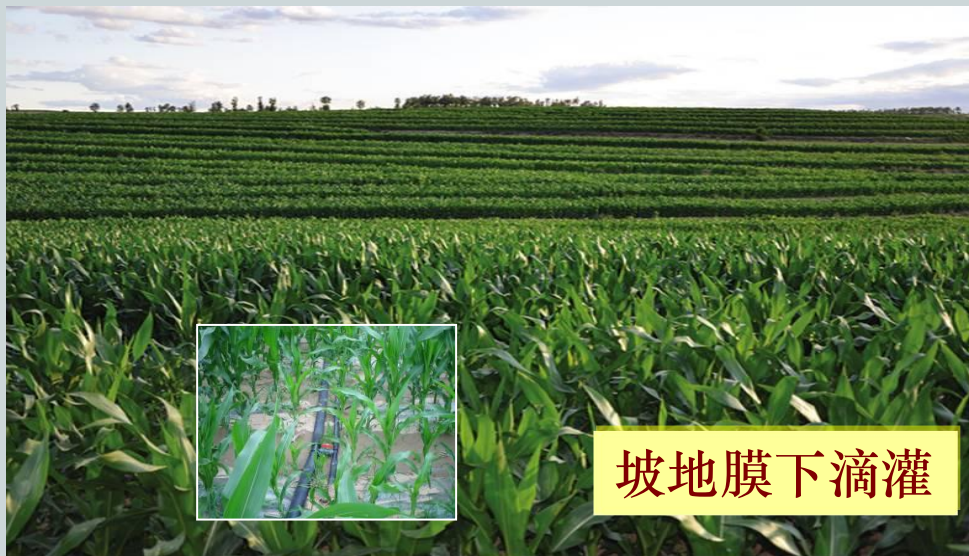


2.3 内蒙古自治区四个千万亩项目

5处粮食高效节水灌溉示范区建设情况

示范区名称	示范区面积 (亩)	核心区面积 (亩)	试验区面积 (亩)	示范区 节水类型	种植作物
阿荣旗示范区	10000	1000	80	喷灌、滴灌	大豆
松山区示范区	7080	700	48	膜下滴灌	玉米
商都县示范区	2057	600	40	膜下滴灌	马铃薯
临河区示范区	10000	2000	30	渠灌	玉米 小麦
达拉特旗 示范区	19000	200	100	大型喷灌	玉米

(1) 赤峰市膜下滴灌技术推广应用



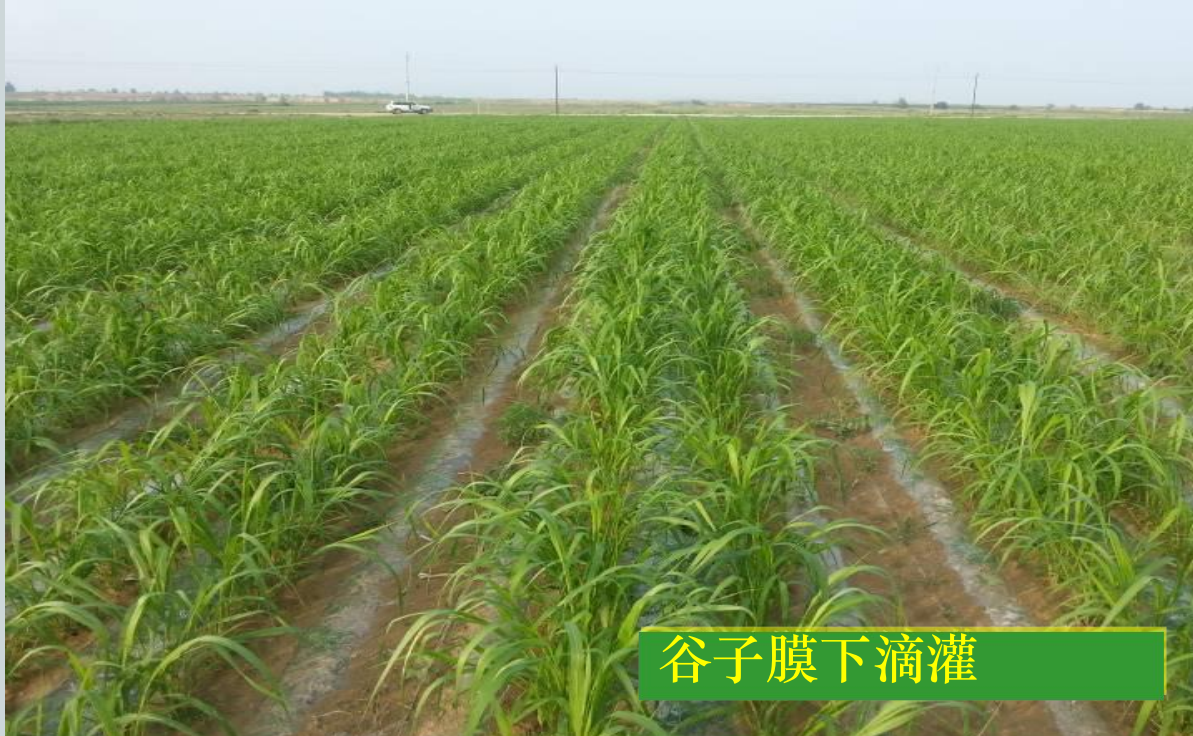
坡地膜下滴灌



平地膜下滴灌

2011—2015年全市累计推广玉米膜下滴灌**500万亩**，累计节水量**9.23亿m³**，增产粮食**33.1亿公斤**，新增效益**66.2亿元**。取得了显著的经济、社会和生态效益。





谷子膜下滴灌



谷子膜下滴灌



谷子膜下滴灌示范田 (全膜)

种植模式	$B=(0.8+0.4)m$
株行间距	$40 \times 20cm$
滴头流量	$q=3.0L/h$
滴头间距	$a=0.3m$
滴灌带间距	$b=1.2m$

谷子膜下滴灌示范田



甜菜膜下滴灌

(2) 乌兰察布市马铃薯膜下滴灌技术推广应用

马铃薯

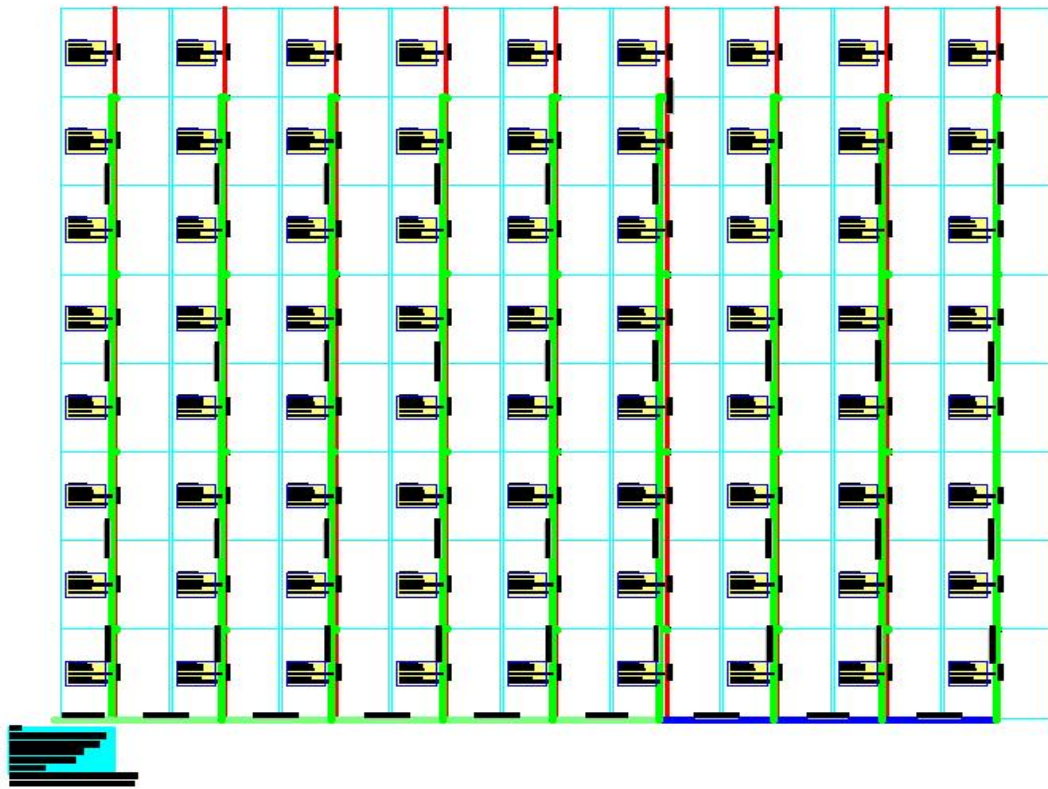


2012年以来全市累计推广马铃薯膜下滴灌111万亩，累计节水量2.6亿 m^3 ，新增产量33.4亿kg，新增效益16.67亿元。

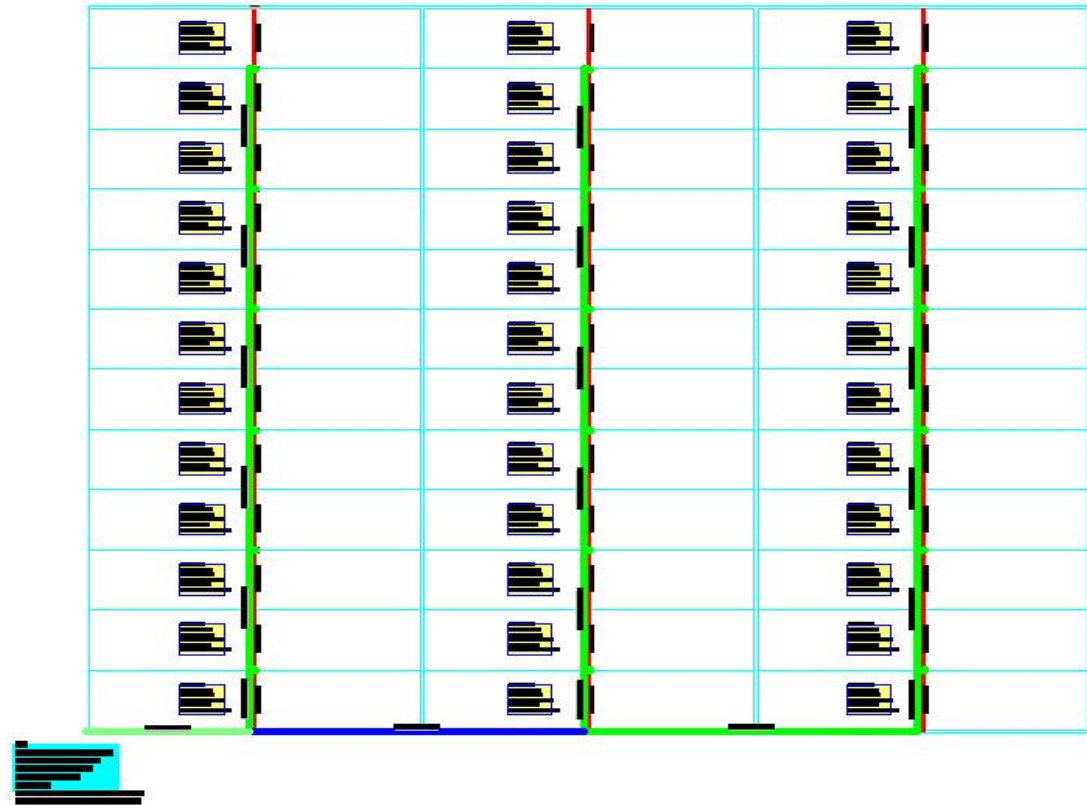


滴灌首部枢纽

耐特菲姆：长距离铺设的小流量滴灌管在内蒙马铃薯上应用



- 滴头流量：1.6升/小时；
- 滴灌管最大铺设距离：50米
- 田间阀门：72个；
- 主管&支管数量：13550米



- 滴头流量：0.8升/小时；
- 滴灌管最大铺设距离：150米
- 田间阀门：36个；
- 主管&支管数量：5110米

小流量滴灌 VS 喷灌-马铃薯种薯



VS



- 节水30%以上
- 省肥20%
- 省工50%以上
- 减药40%
- 商品薯率提高5-8%
- 增产30%以上

1.4万亩项目上，1年间获得：

- ✓ 灌溉节水 39.32万方
- ✓ 产量增加 561.76万公斤
- ✓ 产值增加 449.41万元
- ✓ 人均增收 368.16元

三、粮食作物高效节水灌溉应关注的一些问题



高效节水灌溉应用带来的变化：

- 工程型式的变化
- 种植结构的变化
- 耕作模式变化
- 水肥需求的变化
- 对农机、管理等要求发生变化

3.1 注重农艺技术配套

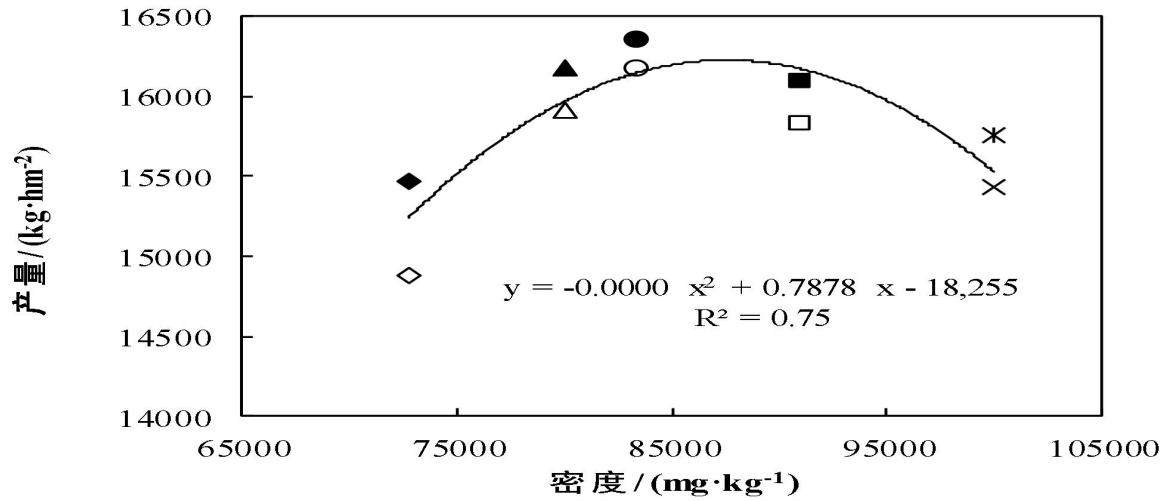
- 工程改变带来种植模式（如平作改垄作）、定植株数、水肥制度、品种、植保措施等的变化
- 玉米起垄栽培与滴灌平播种植相比，种植密度增加，水肥精准控制，单产可提高30%以上。



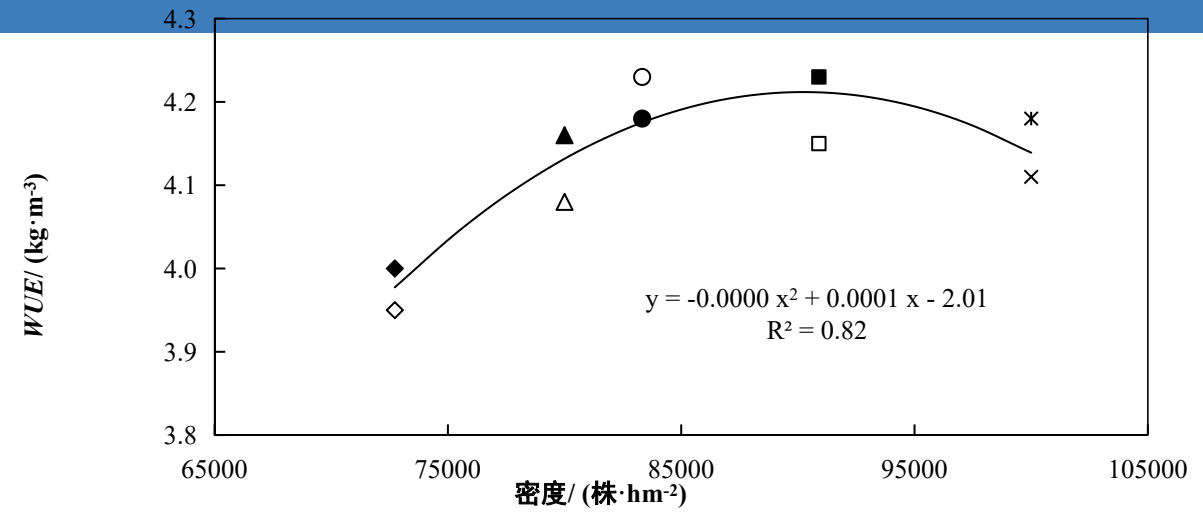
常规： 播种密度4000-4500株/亩； 亩产300—600kg

滴灌： 播种密度5000-6000株/亩
亩产可达800—1000kg

◇ T40-70-25 ◆ T30-80-25 △ T30-70-25 ▲ T40-60-25 ● T30-90-20
○ T40-80-20 □ T30-80-20 ■ T40-70-20 ✱ T30-70-20 ✕ T40-60-20



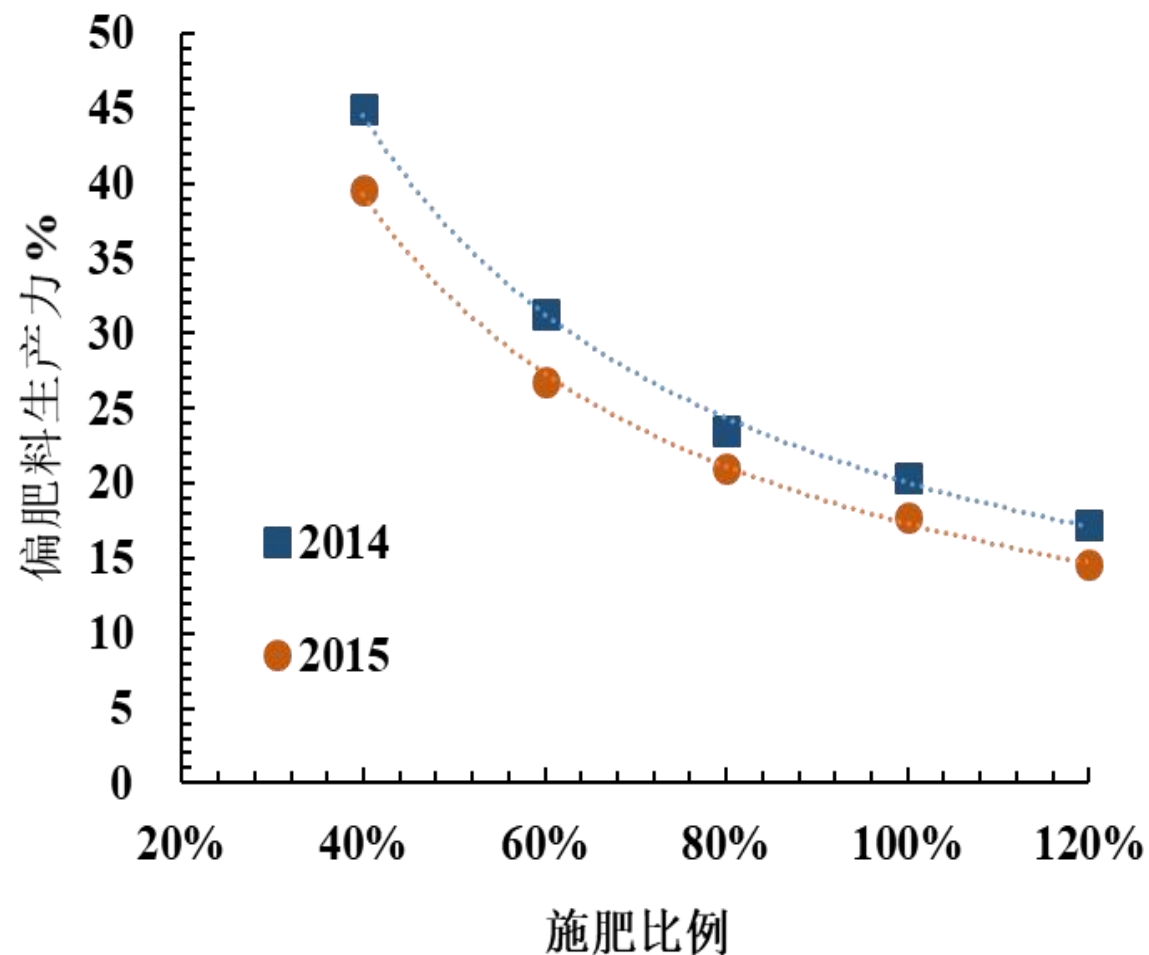
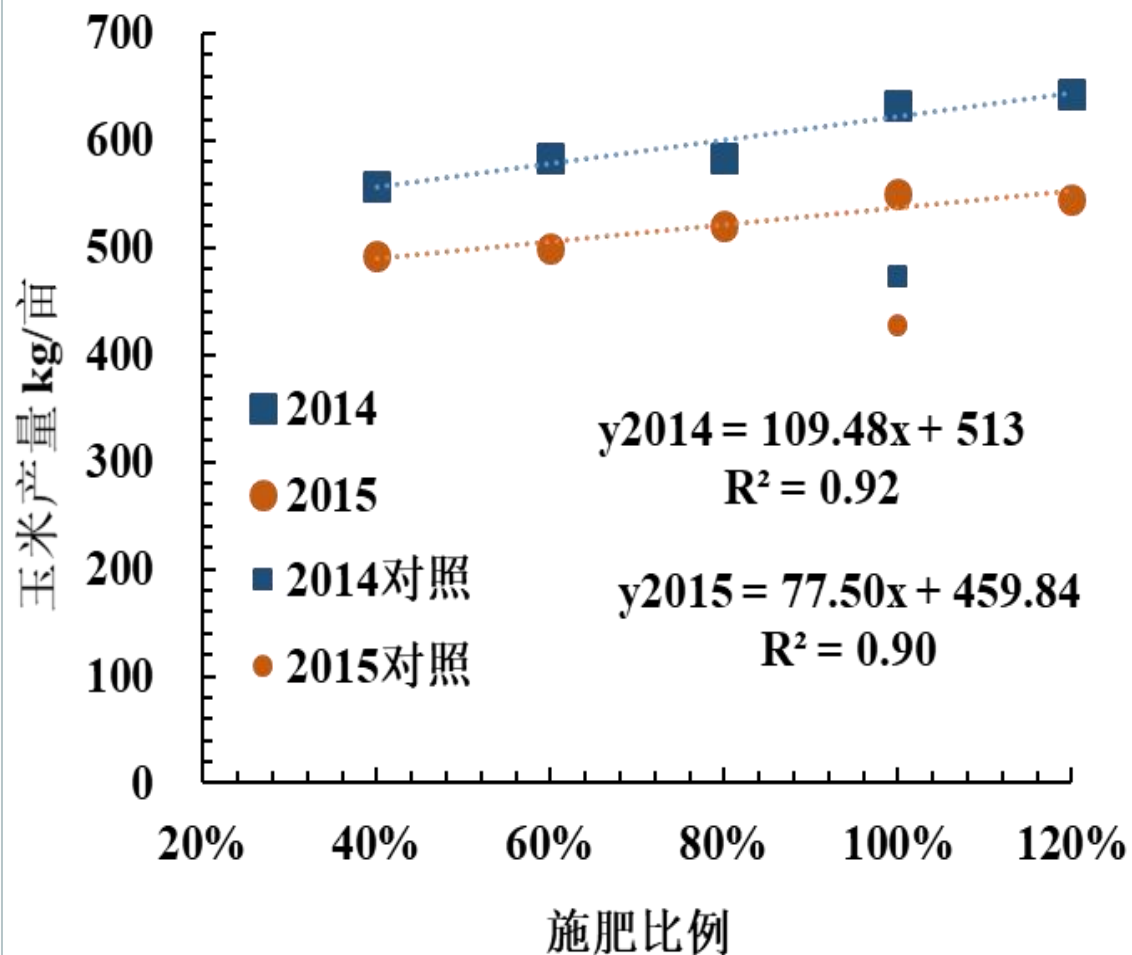
膜下滴灌种植密度对玉米产量的影响



膜下滴灌种植密度对水分利用效率的影响

表2 膜下滴灌玉米各生育期氮、磷、钾肥的施用比例

肥料种类	种肥	六叶期	十二叶期	抽雄期	乳熟期	灌浆期
N	20%	20%	25%	15%	15%	5%
P ₂ O ₅	50%	15%	15%	20%	--	--
K ₂ O	50%	30%	20%	--	--	--



大型喷灌机种植密度对玉米产量和偏肥料生产力的影响

3.2 注重农机技术配套

失败案例：

- ◆ 需要更新传统耕种习惯，协同滴灌技术优势，开展机械化作业创新，发挥滴灌综合效益；



传统坐水种模式



滴灌推广后，仍沿用传统习惯，先拉水车灌水一遍，再铺装滴灌地膜和播种，未能很好发挥滴灌技术优势；

➤ 滴灌技术发展的需求

- 播种机改装优化： 铺设滴灌带 → 覆膜 → 膜上点播一体化完成；
- 播前整地： 要实现膜面平整、下种均匀、压膜可靠



□吉林研发农机设备3种:

- 耕整联合作业机
- 膜上播种一体机
- 回转式残膜回收机



耕整联合作业机



回转式残膜回收机

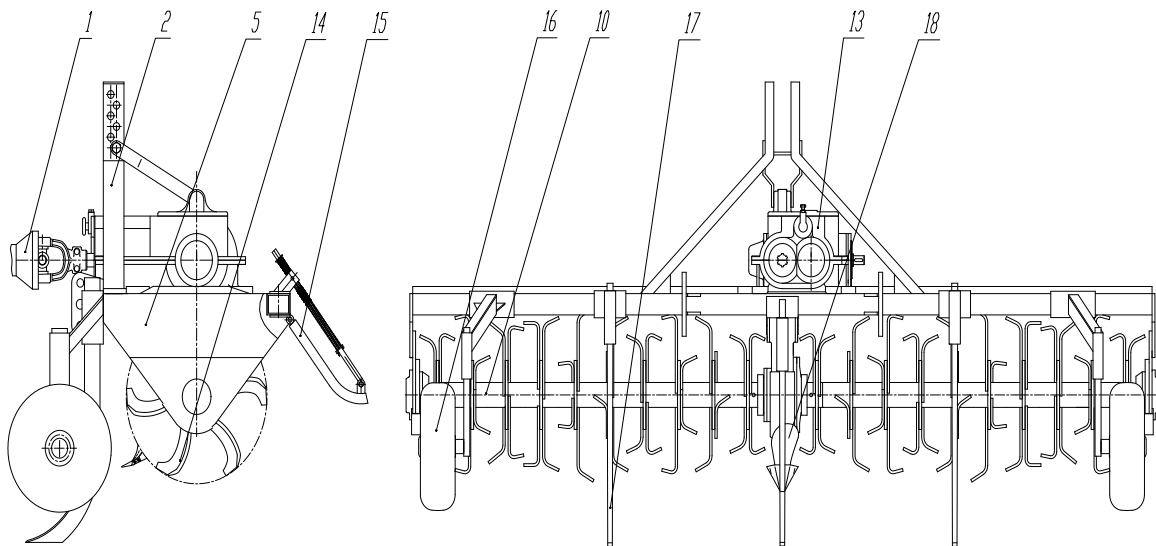


膜上播种一体机

依据大垄双行玉米种植要求，研发耕整联合作业机，达到旋耕深度15.5 cm、起垄高度18 cm。

用旋耕、碎茬通用刀片碎茬作业能满足农艺要求，碎茬率91%以上。

旋耕作业状态



项目	工况	行程1	行程2	工况平均值		
耕深(cm)	工况一	平均值	15.1	14.6	14.85	
		稳定性系数(%)	93.5	95.7	94.6	
	工况二	平均值	14.9	14.1	14.4	
		稳定性系数(%)	95.3	93.7	94.5	
耕宽(cm)	工况一	平均值	3703.5	3701.5	3702.5	
		稳定性系数(%)	94.1	93.6	93.85	
	工况二	平均值	3704.0	3702.5	3703.25	
		稳定性系数(%)	93.4	92.9	93.15	
碎土率(%)	工况一	耕层10cm内≤4cm(kg)	44.8	49.2	47	
		全耕层内≤8cm(kg)	76.3	78.8	77.5	
		全耕层内>8cm(kg)	6.8	7.7	7.25	
		碎土率(%)	91.8	91.1	91.45	
	工况二	耕层10cm内≤4cm(kg)	51.2	48.5	49.85	
		全耕层内≤8cm(kg)	82.1	79.3	80.7	
		全耕层内>8cm(kg)	8.4	7.3	7.85	
		碎土率(%)	90.7	91.6	91.15	
		植被覆盖率(%)	工况一	82.4	86.1	84.25
		工况二	85.3	82.1	83.7	
土壤膨松度(%)	工况一	15.26	14.46	14.86		
	工况二	18.9	18.3	18.6		
机组前进速度(km/h)	工况一	2.21	2.17	2.19		
	工况二	3.18	3.26	3.22		

辽宁

改进、研制农机设备：

- 垄膜沟植播种机
- 铲耙式残膜回收机

研制2套

- 深松联合整地机
- 覆膜滴灌播种施肥机
- 灌溉施肥施药机

改进3套



覆膜播种一体机

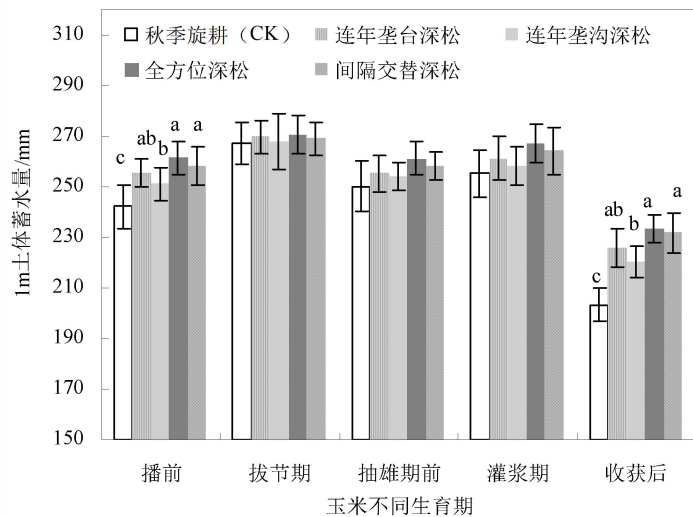


垄覆膜沟播机



深松联合整地机

◆提出的辽西地区适宜的秋季耕整地技术体系，实现旋耕、灭茬、碎土、深松、镇压等作业一次性联合完成，提高降水利用效率，出苗率达到95%以上。



玉米不同生育期土体蓄水量 (1m)



改进耕整地机



秋整地

3.3 注重工程建设与运维管理的结合



- 设专职管理人员，负责系统运行管理，包括首部系统、电机启闭、过滤维护、田间阀门启闭、管网冲洗等



- 种植户：按管理员要求，负责各自区域的运维管护等



- 明确水肥制度、植保措施等
- 工程建设要充分考虑管理的需求，建管技术融合
- 建立统一管理制度



报告结束

谢谢!