

doi: 10.11838/sfsc.20160519

旱地垄沟覆膜栽培对土壤硝酸盐时空分布和玉米产量的影响

黎 晓, 朱 伟, 杨沙沙, 王 衡, 巩 雪, 曲 东*, 蒋 锐*

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:通过大田试验, 考察了旱地垄沟覆膜栽培对土壤硝酸盐时空分布和玉米生物性状及产量的影响。试验设计了垄沟覆膜、平作不覆膜、平作覆膜和裸地对照 4 个处理, 并对其土壤水分、硝酸盐的时空分布和玉米产量进行研究。结果表明: 在整个玉米生长季, 垄沟覆膜栽培模式下土壤 0~40 cm 土层含水量显著高于平作不覆膜; $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 主要集中在 0~40 cm 土层, 且垄沟覆膜-垄上 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 表聚现象比其它处理更明显, 10 cm 处垄上 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量是沟内的 1.6 倍、平作不覆膜的 2 倍; 垄沟覆膜和平作覆膜比平作不覆膜处理单株干物质质量分别增加了 36.15%、16.11%; 单株含氮量分别增加了 13.97%、3.59%; 垄沟覆膜产量高于其他处理。垄沟覆膜栽培能够在保持作物生长状况良好, 获得较高产量的同时, 增加作物对氮素的吸收利用, 同时增加 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的表层累积, 将其保持在根区, 从而降低了 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 淋洗的发生, 降低环境风险, 是旱区获得经济和环境双重效益的玉米栽培模式。

关键词:旱地; 垄沟覆膜; 硝酸盐; 产量

中图分类号: S571.1

文献标识码: A

文章编号: 1673-6257 (2016) 05-0110-08

我国黄土高原旱作农业区氮素匮乏, 大量使用氮肥成为该区粮食增产的重要手段, 但同时也带来了负面的环境效应^[1-2]。同时水分是限制黄土高原旱作农业生产的主要因子^[3]。李世清等^[4-5]认为尽管黄土区降雨量少, 农田硝酸盐淋失仍会发生, 甚至表层硝酸盐会下渗到相当深度, 造成氮肥损失与硝酸盐的深层累积, 并存在潜在的环境风险。覆膜栽培作为节水抗旱保墒的有效耕作措施在旱作农业区得到广泛推广和应用, 其中垄沟覆膜技术被认为是比较适合黄土区的一种高效、高产的覆盖模式。围绕覆膜栽培的推广, 大量的研究就覆膜条件下土壤水分、温度、养分和作物产量等方面进行了探讨^[6], 并认为覆膜条件土壤水热状况的改变是影响作物产量的根本原因^[7-8]; 但覆膜栽培条件下硝酸盐的时空分布涉及较少。垄沟覆膜栽培能否通过调控水分移动, 影响硝酸盐的运移和玉米植株的生长, 进而影响氮肥的有效利用? 这些问题还未见详细报

道。本研究通过田间试验, 对旱地玉米不同种植模式下的土壤水分, 硝酸盐的时空分布和玉米产量进行研究, 以期揭示旱地垄沟覆膜栽培对硝酸盐累积、淋溶的影响, 从而为调控旱地硝酸盐淋失, 提高氮肥利用率及旱地玉米产量提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验于 2014 年 4~10 月在中国科学院长武农业生态试验站进行, 试验区域位于黄土高原中南部陕西省长武县洪家镇王东村 (35°12'N, 107°40'E)。该地海拔 940~1 220 m, 年均气温 9.1℃, 年均降水量 584 mm, 而降水季节性分布不均, 降水主要集中在 7~9 月, 无霜期 171 d, 地下水埋深 50~80 m, 属典型的旱作农业区。试验区土壤为质地均匀疏松的黑垆土, 试验前耕层土壤基本理化性质如下: pH 值 8.4, 有机质 13.41 g·kg⁻¹, 全氮 1.05 g·kg⁻¹, 全磷 (P) 0.69 g·kg⁻¹, 矿质氮 28.80 g·kg⁻¹, 速效钾 (K) 145 g·kg⁻¹, 有效磷 (P) 6.94 mg·kg⁻¹。试验期降水和温度情况如图 1 所示。

1.2 试验设计

1.2.1 小区布设

试验设 4 个处理, 共 4 个小区, 小区面积 90 m² (9 m×10 m), 具体见表 1。

收稿日期: 2015-07-19; 最后修订日期: 2015-09-22

基金项目: 国家自然科学基金 (41201279); 中央高校业务经费 (QN2013076)。

作者简介: 黎晓 (1990-), 女, 重庆人, 硕士研究生, 主要研究方向为环境化学。E-mail: XiaoL0711@163.com。

通讯作者: 蒋锐, E-mail: jiangrui@nwsuaf.edu.cn; 曲东, E-mail: dongqu@nwsuaf.edu.cn。

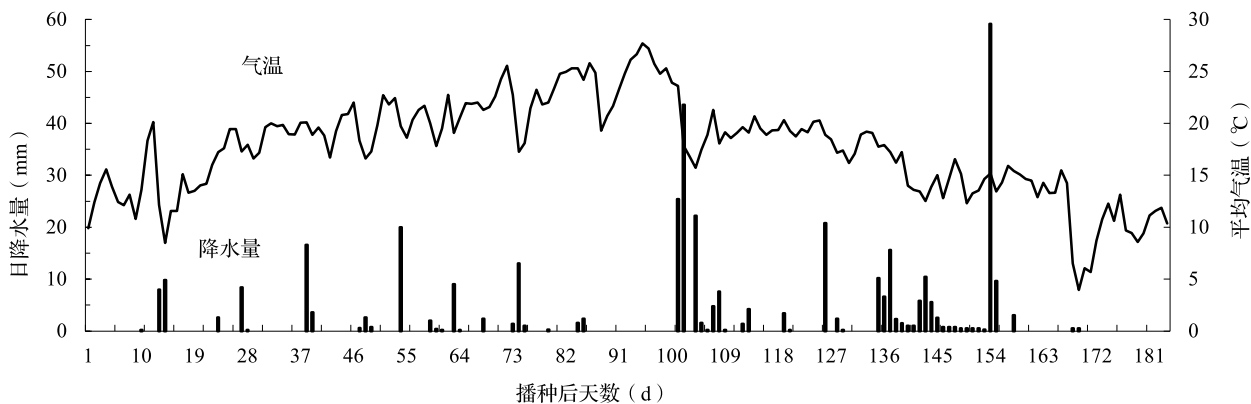


图1 2014 年玉米生育期内降水量和温度情况

表1 小区布设

处理	操作方法
垄沟覆膜	垄宽 70 cm，高 15 cm，沟宽 30 cm，垄面为弓形，垄上覆膜，玉米播种于膜侧 15 cm 处，株距 30 cm；
平作覆膜	隔行覆膜，膜宽 90 cm，玉米播种于膜侧 15 cm 处，采用宽窄行播种方式，宽行 60cm，窄行 40 cm，株距 30 cm；
平作不覆膜	采用宽窄行播种方式，宽行 60 cm，窄行 40 cm，株距 30 cm；
裸地对照	整地后裸露，作为对照。

1.2.2 施肥量及供试品种

施肥品种：过磷酸钙（P₂O₅ 12%），尿素（N 46.4%），硫酸钾（K₂O 51%）。施肥量：氮 240 kg·hm⁻²，磷 100 kg·hm⁻²，钾 75 kg·hm⁻²，磷、钾肥按肥料设计用量于播种时一次性施入，氮肥 170 kg·hm⁻²播种时施入，70 kg·hm⁻²于玉米拔节期进行追施。在玉米播前整地施肥完后再起垄，供试玉米品种为“先玉 335”，种植密度为 66 600 株·hm⁻²，于每年 4 月底播种（人工点播），9 月中下旬收获，玉米全生育期不进行灌溉，按照常规管理。选用宽 90 cm，厚 0.006 mm 的地膜，且休闲期保留地膜覆盖。

1.3 样品的采集与分析

1.3.1 土壤的采集与分析

试验前取土壤样品风干、过筛后进行土壤理化性质分析。玉米生育期内，用土钻法采集土样，每个小区随机选取 3 个样点，对每个土层采集混合土样，土样采集深度分别为 0~10、10~30、40~60、80~100、140~160 cm。生长初期（5~6 月）每个月采集土样一次，6~9 月由于降雨集中，采集土样的频率为每 10 d 一次，休闲期每两周采集一次土样。硝态氮含量采用 2 mol·L⁻¹氯化钾浸提—流动分析仪测定。

1.3.2 植物样的采集与分析

玉米成熟后，每个小区选取 3 组有代表性的植

物样品（每组 4 株），测定生物量，鲜样分不同器官在 105℃杀青 30 min，80℃下烘干至恒重后称重，粉碎、过 1 mm 筛。植物样全氮采用浓 H₂SO₄—H₂O₂ 消煮，流动分析仪测定。

1.4 田间监测

1.4.1 土壤水分的监测

土壤水分采用土钻取土烘干法测定，配合中子仪测定。6~9 月由于降雨集中，土壤含水率频率为每 5 d 一次，降雨后加测含水率。

1.4.2 玉米生物性状的监测

玉米成熟后，每小区量取 3 个 1 m×1 m 的样方测产；同时每个小区取 12 株植株，测定植株的株高、叶片数、叶片长度、宽度、主穗位，并测定玉米的穗长、穗径、穗的行与列、穗粒数及百粒鲜重，称量烘干的玉米百粒质量。

1.5 气象数据

气象数据来源于中国科学院长武农业生态试验站气象站的常规测定数据。

1.6 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 和 SPSS21.0 软件进行数据处理和差异显著性检验，用 Surfer11.0 软件作图。

2 结果与分析

2.1 不同处理下土壤水分动态变化

玉米不同生育期土壤含水量的等值线分布情况如

图2所示,受玉米生长和气象因子的影响,各处理土壤含水量的垂直分布在苗期较高,苗期至灌浆末期逐渐降低,之后逐渐回升。在蒸发蒸腾较为强烈的抽雄

期和灌浆期,土壤水分含量迅速降低,且由于根系主要分布于上层0~40 cm,表层土壤受土壤蒸发蒸腾影响较大,使得表层土壤水分的降低优先于下层土壤。

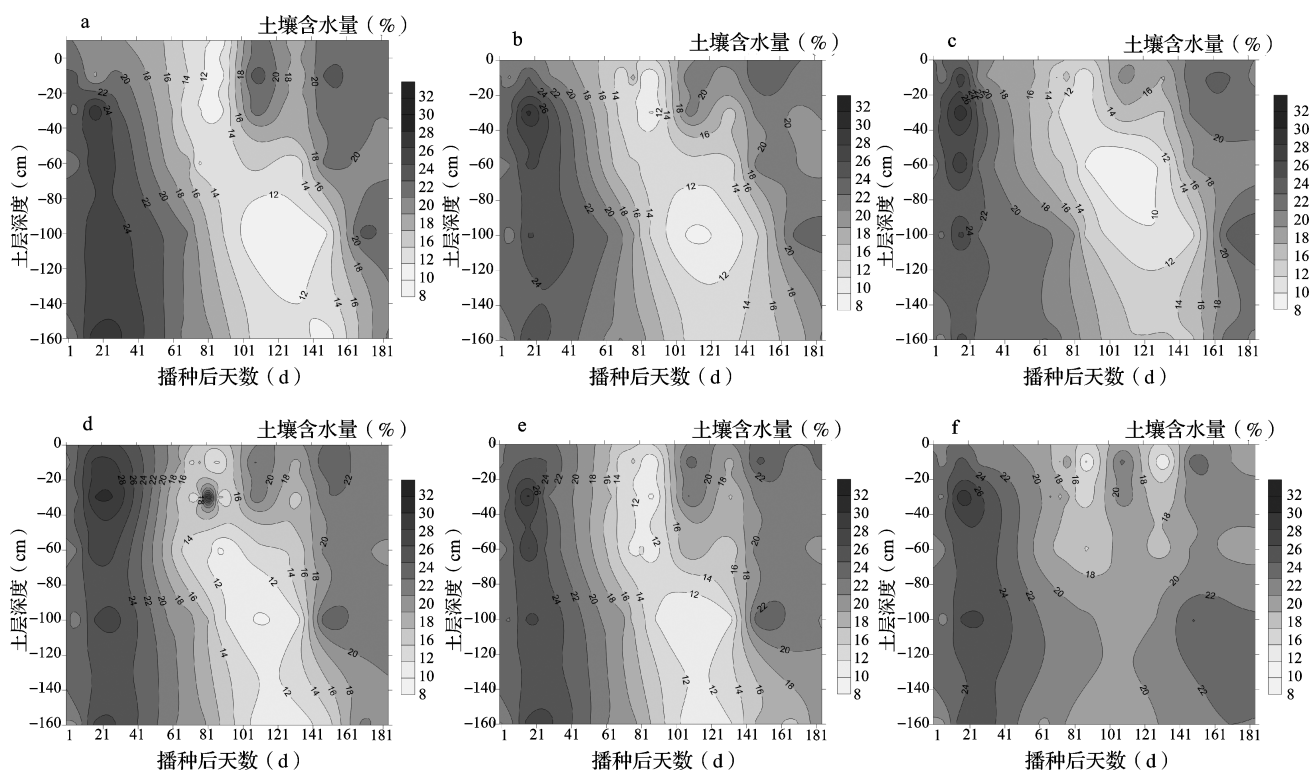


图2 不同处理下玉米生育期内土壤含水量的等值线分布情况

注: a. 垄沟覆膜-垄, b. 垄沟覆膜-沟, c. 平作不覆膜, d. 平作覆膜-膜下, e. 平作覆膜-膜间, f. 裸地对照。

苗期 (1~29 d), 0~160 cm 土壤储水量在整个生长季内最大, 且土壤含水量的垂直变化趋势基本一致, 呈现先升高后降低的趋势, 此时期各处理 0~40 cm 土层含水量由高到低依次为平作覆膜-膜下、垄沟覆膜-沟、平作不覆膜、垄沟覆膜-垄、平作覆膜-膜间; 40~160 cm 土层, 垄沟覆膜-垄的土壤含水量最高。拔节期 (29~56 d), 地面裸露面积较大, 水分蒸发运动较多, 对比垄沟覆膜下的垄、沟 (图 2a、b)、平作覆膜下的膜间和膜下 (图 2d、e), 可明显发现覆膜处理能够通过改变上边界条件进而有效抑制土壤水分的蒸发, 从而显著提高 0~40 cm 土层的土壤含水量。在需水量较大的抽雄期和灌浆期 (56~121 d), 尽管土壤含水量总体呈现出降低的趋势, 但通过对比垄沟覆膜的垄、沟 (图 2a、b) 与平作不覆膜 (图 2c) 的水分时空分布, 可以看出垄沟覆膜的含水量总体比平作的高; 通过对比平作覆膜-膜下 (图 2d) 和膜间 (图 2e), 发现 0~20 与 80~160 cm 膜下与膜间差异不明显, 20~80

cm 土层内土壤水分含量膜下高于膜间。灌浆期玉米生长旺盛, 蒸腾耗水加大, 尽管这个时期降雨量集中, 且强度较大, 但各处理的土壤含水量依旧呈现出持续降低的趋势, 使得在这一时期各处理 0~160 cm 土壤储水量下降至最低, 且均低于裸地对照, 尤其是 80~120 cm 水分亏缺最为明显, 这充分说明, 根系吸水导致的水势梯度使得此层的土壤水分对上层进行了补给; 而 0~40 cm 土层受降雨入渗影响, 含水量相对较高。成熟期 (121~146 d), 土壤含水量在垂直上依旧呈降低的趋势, 而随着生育期的结束在时间尺度上是升高的趋势。其中, 成熟期作物耗水量迅速降低, 且各处理土壤水分均得到降雨的补给, 使得土壤储水量逐步回升。休闲期 (146~181 d), 水分上升的趋势越趋明显。

2.2 不同处理下土壤硝酸盐动态变化

玉米不同生育期土壤硝酸盐的等值线分布情况如图 3 所示, 从图中可以明显看出, 各处理各土层的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量均比裸地高, 各处理土壤硝酸盐在

垂直分布上大致呈降低趋势,且垄沟覆膜-垄和平作覆膜-膜下两个处理在100 cm左右出现硝酸盐累积的情况。不同处理随着生育期的推进,土壤硝酸盐含量总的动态变化趋势是0~40 cm显著下降。从整体上看,垄作覆膜-垄在60、121 d与平作覆膜-膜间、膜下在101 d观察到 NO_3^- -N在60~80

cm处累积,可能跟降雨造成的硝态氮淋洗有关;同时对比垄沟覆膜-垄、平作覆膜-膜下、平作不覆膜 NO_3^- -N含量的动态变化,发现覆膜处理的膜下比不覆膜处理的浅层土壤硝酸盐含量高;作物收获时,垄作覆膜-垄上0~40 cm土层仍有大量 NO_3^- -N残留。

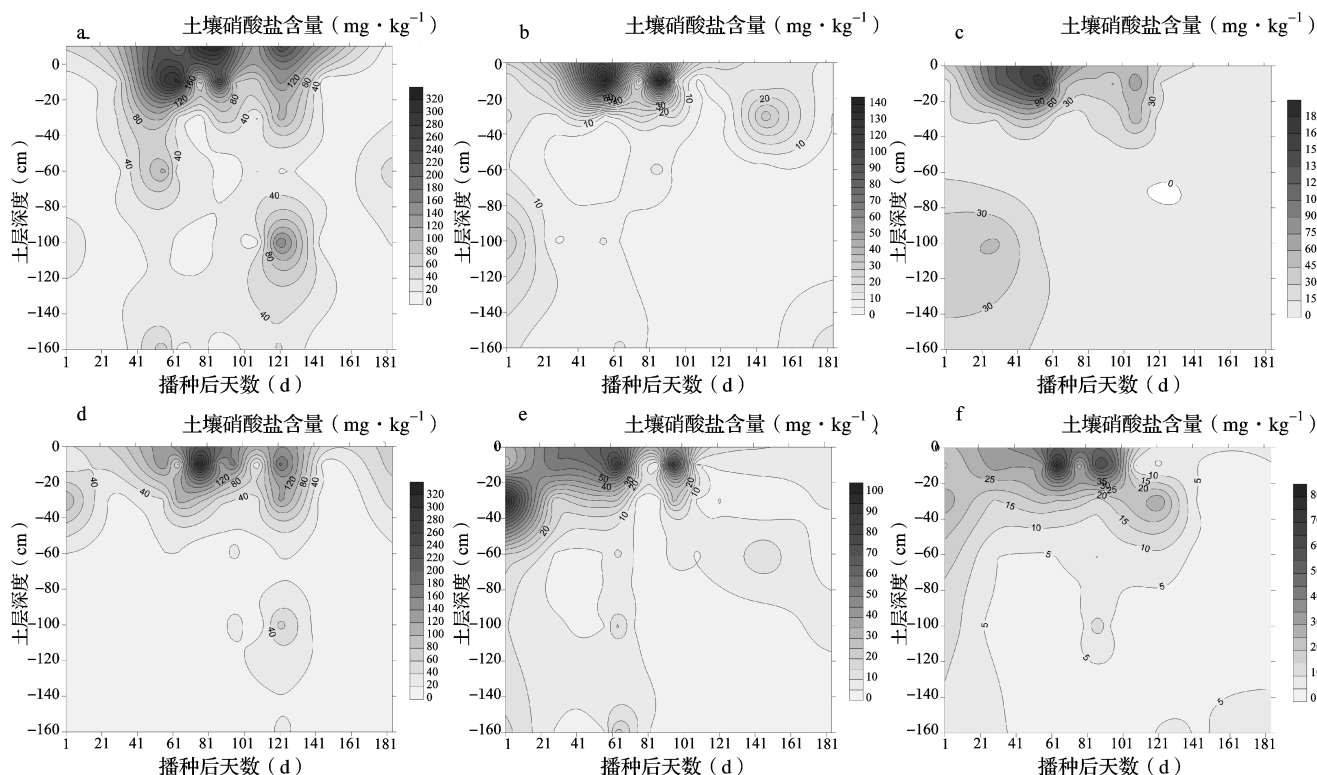


图3 不同处理下玉米生育期内土壤硝酸盐的等值线分布情况

注: a. 垄沟覆膜-垄, b. 垄沟覆膜-沟, c. 平作不覆膜, d. 平作覆膜-膜下, e. 平作覆膜-膜间, f. 裸地对照。

苗期(1~29 d),各处理土壤硝酸盐的垂直变化趋势基本一致,但垄沟覆膜-垄(图3a)、平作覆膜-膜下(图3d)与平作不覆膜(图3c)3个处理在100 cm左右均出现40~80 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 的峰值,此时期内未监测到强降雨事件,故可能是由于上季施肥导致的深层硝酸盐积累。在拔节期(29~56 d),随着生育期的推进,植株对硝酸盐的吸收量越来越大,不同处理土壤 NO_3^- -N含量在60~160 cm均有所下降,但0~40 cm土层的 NO_3^- -N含量有明显的峰值出现。这是由于在此时期进行了追肥(追施尿素 $\text{N} 70 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$),使得 NO_3^- -N集中在10 cm左右。从几个处理此时期 NO_3^- -N的含量上看,垄沟覆膜-垄(图3a) > 垄沟覆膜-沟(图3b) > 平作覆膜-膜下(图3d) > 平作不覆膜(图3c) > 平作覆膜-膜间(图3e) > 裸地对照(图3f)。且垄沟覆膜-垄上10 cm的含量是各处理

的最高含量,为沟内10 cm含量的1.6倍,为平作不覆膜10 cm土层的2倍。抽雄期(56~87 d),各处理 NO_3^- -N均主要分布在40 cm以上土层, NO_3^- -N含量随着土层深度增加而降低,且覆膜下的含量高于不覆膜。灌浆期(87~121 d),植株对土壤中的 NO_3^- -N大量吸收利用,故与生育期的前几个时期相对比,各处理灌浆期的 NO_3^- -N含量总体上均在下降。从图中可明显看出,垄沟覆膜-垄、平作覆膜-膜两个处理0~40 cm土层,虽然 NO_3^- -N含量在下降,但依旧明显比其他处理下的含量高。成熟期(121~146 d),植株对 NO_3^- -N的需要量减少,故各处理 NO_3^- -N在各土层的含量差异不明显。从图3可明显看出,在整个生长季,玉米收获后 NO_3^- -N含量趋于稳定。在休闲期(146~181 d),虽然各处理 NO_3^- -N含量基本稳定,但通过对比各处理发现,覆膜下浅层硝酸盐含量依旧明显高

于不覆膜。

2.3 垄沟覆膜种植对玉米生物学性状和产量的影响

不同栽培模式在影响土壤水氮分布的同时也会影响植株的生长。表 2 是不同处理下玉米成熟期各器官质量及单株干物质量，从表 2 可明显看出，覆膜处理下玉米各器官质量，除雄穗外均比平作不覆膜处理的含量高。其中，垄沟覆膜比平作覆膜的各

器官质量高，但平作覆膜与平作不覆膜无显著差异。这说明覆膜可以提高玉米的生物量，例如垄沟覆膜和平作覆膜下籽粒重量分别比平作不覆膜高 54.02%、25.59%；且覆膜下茎秆生长旺盛，比不覆膜的重。本试验的垄沟覆膜和平作覆膜相对比，平作不覆膜处理单株干物质量分别增加了 36.15%、16.11%，垄沟覆膜比平作覆膜增加了 17.26%。

表 2 不同处理下玉米成熟期各器官质量 (g)

处理	玉米成熟期各器官质量							单株干物质量
	籽粒	穗轴	茎秆	叶片	叶鞘	苞叶	雄穗	
垄沟覆膜	429.84 ± 156.13	55.73 ± 17.78	84.30 ± 10.65	52.74 ± 10.96	38.98 ± 8.34	46.12 ± 20.72	1.30 ± 0.29	709.02 ± 82.52
平作覆膜	350.49 ± 24.17	47.31 ± 6.04	81.31 ± 8.69	53.25 ± 4.13	29.88 ± 3.50	41.72 ± 8.39	0.69 ± 0.13	604.65 ± 36.35
平作不覆膜	279.07 ± 10.20	39.47 ± 2.12	75.29 ± 7.81	53.09 ± 2.63	29.46 ± 2.88	38.89 ± 6.81	1.10 ± 0.16	520.75 ± 17.33

表 3 是不同处理下玉米成熟期各个器官的全氮含量，表 3 显示，各个处理下总体上是籽粒和叶片含氮量最高，雄穗、叶鞘、苞叶次之，穗轴较低，茎秆含氮量最低；且不同处理间各个器官（除叶鞘）含氮量的差异均不显著。从平均值上看，单株

含氮量垄沟覆膜最高，平作不覆膜最低，且覆膜均高于不覆膜处理；其中垄沟覆膜和平作覆膜比平作不覆膜处理分别增加了 13.97%、3.59%，垄沟覆膜比平作覆膜增加了 10.02%。

表 3 不同处理下玉米成熟期各器官全氮含量

处理	玉米成熟期各器官全氮含量 (g · kg ⁻¹)							单株总氮 (g · 株 ⁻¹)
	籽粒	穗轴	茎秆	叶片	叶鞘	苞叶	雄穗	
垄沟覆膜	10.76 ± 1.09a	4.30 ± 0.38a	2.32 ± 0.73a	10.24 ± 2.80a	3.08 ± 0.37a	2.37 ± 0.30a	5.11 ± 1.32a	5.71 ± 0.18a
平作覆膜	10.97 ± 1.64a	3.63 ± 1.19a	2.79 ± 0.61a	11.81 ± 3.64a	4.36 ± 0.16b	4.31 ± 1.38a	4.52 ± 1.79a	5.19 ± 0.80a
平作不覆膜	13.56 ± 0.10a	2.81 ± 0.66a	3.80 ± 0.20a	12.51 ± 0.93a	3.80 ± 0.21ab	3.44 ± 0.93a	5.94 ± 1.39a	5.01 ± 0.04b

注：表中同列数据后不同小写字母表示处理间差异达到 0.05。下同。

表 4 是不同处理下玉米产量及构成因素，通过对比发现：不同处理下的穗位高覆膜明显比不覆膜高，且垄沟覆膜、平作覆膜与不覆膜三者之间差异显著；各处理间的穗粒数、百粒重差异均显著，穗

长、穗粗差异均不显著。各处理的产量对比如下：垄沟覆膜 > 平作覆膜 > 平作不覆膜，其中垄沟覆膜处理下的产量比平作覆膜、平作不覆膜处理分别高 3.2%、19.59%。

表 4 不同处理下玉米产量及构成因素

处理	穗位高 (cm)	穗长 (cm)	穗粗 (cm)	穗粒数	百粒重 (g)	产量 (kg · hm ⁻²)
垄沟覆膜	134.92 ± 5.52 a	21.88 ± 2.41 a	17.97 ± 0.49 a	717 ± 56 a	38.25 ± 3.44 a	12 116 ± 2 157 a
平作覆膜	147.00 ± 8.41 b	21.98 ± 1.03 a	17.71 ± 0.56 a	682 ± 65 b	35.57 ± 5.35 b	11 740 ± 1 955 a
平作不覆膜	128.00 ± 7.87 c	22.42 ± 1.14 a	17.83 ± 0.54 a	703 ± 30 b	32.76 ± 2.03 c	10 131 ± 1 904 a

3 讨论

3.1 垄沟覆膜栽培对土壤水分的影响

干旱是制约半干旱地区玉米生长的主要限制因

子，通过改变耕作和种植方式来实现作物节水生产，发展旱作栽培技术是农业研究的热点领域^[9]。地膜覆盖和垄沟种植模式通过垄沟微地形的改变和垄上地膜对降雨的蓄积作用，有效地集蓄自然降

水, 尤其提高了小于 5 mm 的农田降水资源化程度^[10-11]; 同时地膜覆盖抑制了土壤水分蒸发, 促进土壤水分在土层上部的聚集^[12-14], 改善土壤耕层的水分条件, 从而有利于玉米的生长。

本研究的土壤水分测定结果表明, 不同处理各土层的土壤含水量在玉米播种、拔节乃至整个玉米生育期都有显著差别。苗期降雨多小于 5 mm (图 1), 而垄作覆膜能够通过集水、抑蒸作用, 促进沟内土壤水分向深层入渗, 同时覆膜处理下由于膜内温度较高, 土壤深层的水分在毛细管作用下不断向上移动^[15], 使表层土壤含水量明显在垂直深度上最高, 起到了提墒作用; 此时期, 玉米根系分布主要在 0~40 cm 土层, 因此, 此时期 0~40 cm 土层含水量对玉米的生长和发育十分重要^[16]。

拔节期, 随着玉米生长进程推进, 覆膜与不覆膜处理间差异愈发明显。抽雄和灌浆期, 尽管降雨集中, 但玉米耗水量大, 膜下深层土壤水分被补给到根区, 故表现为覆膜增加浅层土壤水分, 降低了深层土壤水分, 这与孙明等^[17]和李世清等^[7]的研究结果一致。有研究^[18-20]发现, 在玉米的整个生育期, 覆膜处理在苗期至拔节期有较明显的保墒效应, 而拔节期之后随生育进程的推进保墒效应逐渐减弱。在本研究中, 从抽雄到成熟期保墒效应依旧显著, 这可能跟当季的降雨情况和作物的需水情况相关。

杜社妮等^[21]研究发现, 由于覆膜与不覆膜处理对于降雨的入渗方式不同, 覆膜主要以侧向渗透为主, 不覆膜主要以垂直渗透为主, 因此覆膜栽培下的膜内水分增加比不覆膜的滞后。但在本试验中, 因水分监测频率不够, 未明显捕捉到滞后现象。

3.2 垄沟覆膜栽培对土壤 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的影响

垄沟覆膜栽培通过对微地形的调整, 改变了土壤的水分, 而土壤盐分随着水分运动而迁移, 即“盐随水走”, 故与土壤生物过程密切相关的土壤氮素转化过程必然会受到影响, 从而最终影响土壤剖面的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 累积。在半干旱半湿润农田生态系统石灰性土壤剖面中, 累积的残留 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 是不可被忽视的有效氮库^[5]。尽管范亚宁等^[22]的研究发现, 当土壤剖面水分含量 < 23% (最佳田间持水量) 时, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 随水分向 100 cm 以下土层迁移的可能性不大。但在一定的降水条件 (如强降雨事件) 下, 土壤剖面中累积的这部分 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 完全有被淋

失出作物根区的可能, 使得作物无法利用, 最终导致硝酸盐在深层累积。

本试验中, 各处理下的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 有向下迁移与累积的现象, 例如: 平作覆膜-膜间、平作不覆膜、裸地对照 3 个处理在 101 d 出现了由强降雨引起的淋洗, 但均发生在 0~80 cm 土层以内, 与前人的研究结果一致^[22]; 而垄沟覆膜-垄因为多次降雨导致淋失在 60、121 d 的 60 cm 处均出现了较高含量, 这种膜下 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 在土层的累积, 对于垄沟覆膜而言可能是水分的侧向运动引起, 但相对降雨存在滞后效应。垄沟覆膜截获、聚集在沟内的雨水, 通过侧向渗透进入膜下土壤, 使沟内 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 随着水分的运动迁移到垄下, 从而增加了垄沟覆膜-垄表层土壤的硝酸盐含量。覆膜下大量的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 主要分布在 0~40 cm, 这说明覆膜能够通过减少降雨的冲刷, 很好地将 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 保持在根区, 从而降低 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 淋洗的发生。覆膜情况下的浅层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量明显高于不覆膜处理, 其中平作覆膜-膜下 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量的最大值为平作不覆膜下 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 最大值的 3.2 倍, 垄沟覆膜-垄上 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量的最大值是沟内的 1.6 倍, 是平作不覆膜的 2 倍。

结合土壤中硝酸盐的累积量的差异和玉米对氮素的吸收情况分析, 发现垄作覆膜处理下土壤表层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量最高, 同时玉米单株干物质质量、单株全氮含量及垄作覆膜处理下玉米产量均为最高, 分别比平作覆膜处理下各指标高出 17.26%、12.18%、0.80%。有研究^[23]表明, 在 0~30 cm 土层, 植株吸收的氮素越多, 相应 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量越少。因此, 本研究的结果说明, 垄沟覆膜处理下 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 通过降低硝酸盐淋失, 被尽可能地保留在 0~40 cm 土层供给当季及下季作物利用, 从而实现旱地作物高产、高效, 获得经济和环境的双重效益。综上, 覆膜栽培是降低由硝酸盐淋失、累积造成环境污染问题的有效手段; 且垄沟覆膜栽培最大限度地降低了 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的淋失, 并通过对水分的调控实现了 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的再分配。

3.3 覆膜与垄沟种植对玉米产量的影响

覆膜栽培通过对水分、温度的调控使各处理下玉米的产量、植株个体诸多特性上都具有较明显的差异。覆膜能增加玉米植株生物量, 玉米不同器官的全氮含量以籽粒和叶片最高, 雄穗、叶鞘、苞叶次之, 穗轴较低, 茎秆全氮含量最低, 这个结果与张仙梅等^[24]的研究结果类似, 说明玉米各营养器

官中的氮素最终绝大部分转移到籽粒。这与陈顺平等^[25]的结论“完熟期时,春玉米各器官的氮素积累量大小顺序为籽粒>叶片>苞叶和穗轴>茎秆>叶鞘>雄穗”有所不同。

有研究^[26-28]表明,地膜覆盖能够通过改善农田水温状况影响作物生长,提高玉米产量;同时覆膜通过影响植株根系的生长和灌浆持续期的长短,从而最终影响玉米的生长发育。在本研究中,各处理的产量表现为垄沟覆膜最优,但覆膜的增产效果不显著。这可能是由于苗期水分充足,则覆膜带来的集水作用对玉米的出苗和前期生长影响不大,使得各处理产量差异不明显。同时,也有可能由全生育期覆膜^[29]导致,由于在玉米生长发育后期,尤其是进入抽雄期这个玉米籽粒形成的关键时期,植株对氧气的需求加大,而覆膜导致的根际持续性缺氧对植株的生长不利;且长期覆膜带来的根区土壤温度升高使得土壤通气性变差,从而影响根系生长和活性,引起水分和养分效率的下降,最终影响产量,但是否需要配合揭膜处理提高产量还有待进行试验验证。

4 结论

垄沟覆膜能够通过微地形的改变和地膜的覆盖集水、抑制蒸发,从而显著提高0~40 cm土层的土壤含水量;且覆膜情况下 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 主要集中在0~40 cm土层,含量明显高于不覆膜处理,10 cm处垄沟覆膜-垄上 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量是沟内的1.6倍,是平作不覆膜的2倍;同时垄沟覆膜促进了玉米对氮素的吸收,一定程度提高了玉米产量。

综上所述,覆膜处理降低了 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 淋洗的发生,将 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 保持在根区,供给当季及下季作物利用,降低环境污染的风险。尤其垄沟覆膜栽培模式,能够在保持作物生长状况良好,获得较高产量的同时,减少 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的深层累积,从而获得经济和环境双重效益。因此,在黄土高原旱作农业区,应大力推广垄作覆膜玉米栽培技术。

参考文献:

- [1] Li S Q, Xiao L. Distribution and management of drylands in the People's Republic of China [J]. *Advances in Soil Science*, 1992, 18: 147-302.
- [2] Giles J. Nitrogen study fertilizes fears of pollution [J]. *Nature*, 2005, 433 (7028): 791.
- [3] 高飞,贾志宽,韩清芳,等. 秸秆覆盖量对土壤水分利用

及春玉米产量的影响 [J]. *干旱地区农业研究*, 2012, 30 (1): 104-112.

- [4] 李世清,李生秀. 半干旱地区农田生态系统中硝态氮的淋失 [J]. *应用生态学报*, 2000, 11 (2): 240-242.
- [5] 李世清,王瑞军,李紫燕,等. 半干旱半湿润农田生态系统不可忽视的土壤氮库-土壤剖面中累积的硝态氮 [J]. *干旱地区农业研究*, 2004, 22 (4): 1-11.
- [6] 申丽霞,王璞,张丽丽. 可降解地膜对土壤温度、水分及玉米生长发育的影响 [J]. *农业工程学报*, 2011, 27 (6): 25-30.
- [7] 李世清,李东方,李凤民,等. 半干旱农田生态系统的地膜覆盖的土壤生态效应 [J]. *西北农林科技大学学报 (自然科学版)*, 2003, 31 (5): 21-29.
- [8] 白丽婷,海江波,韩清芳,等. 不同地膜覆盖对渭北旱塬冬小麦生长及水分利用效率的影响 [J]. *干旱地区农业研究*, 2010, 28 (4): 135-139.
- [9] 范秀玲,李凤海,史振声,等. 玉米偏垄宽窄行种植方式的增产作用和生理特性研究 [J]. *玉米科学*, 2010, 18 (1): 108-111.
- [10] 陈玉娟,管东生. 论中国西部大开发战略中的环境保护与可持续发展 [J]. *干旱区资源与环境*, 2000, 14 (4): 1-4.
- [11] 李巧珍,李玉中,郭家选,等. 覆膜集雨与限量补灌对土壤水分及冬小麦产量的影响 [J]. *农业工程学报*, 2010, 26 (2): 25-30.
- [12] 张雷,牛建彪,赵凡. 旱作玉米提高降水利用率的覆膜模式研究 [J]. *干旱地区农业研究*, 2006, 24 (2): 8-17.
- [13] 白秀梅,卫正新,郭汉清,等. 晋北旱地玉米微集水种植技术的土壤水分动态研究 [J]. *山西农业大学学报*, 2005, 25 (3): 289-308.
- [14] 李尚中,王勇,樊廷录,等. 旱地玉米不同覆膜方式的水温及增产效应 [J]. *中国农业科学*, 2010, 43 (5): 922-931.
- [15] 韩丙芳,田军仓,杨金忠. 玉米膜上灌溉条件下土壤水、热运动规律的研究 [J]. *农业工程学报*, 2007, 23 (12): 85-89.
- [16] 刘晶淼,安顺清,廖荣伟,等. 玉米根系在土壤剖面中的分布研究 [J]. *中国生态农业学报*, 2009, 17 (3): 517-521.
- [17] 孙明,薛明霞,王立琴. 潜水蒸发与埋深关系模型研究 [J]. *山西水利科技*, 2003, (3): 16-18.
- [18] Wang X L, Li F M, Jia Y, et al. Increasing potato yields with additional water and increased soil temperature [J]. *Agriculture Water Management*, 2005, 78 (3): 181-194.
- [19] 孙玉莲,边学军,黄成秀,等. 全膜双垄沟播对旱区玉米田土壤水分和温度的影响 [J]. *中国农业气象*, 2014, 35 (5): 511-515.
- [20] 孙学保. 旱地全膜双垄沟播玉米增产效应研究 [D]. 甘肃: 甘肃农业大学, 2009.
- [21] 杜社妮,白岗栓. 玉米地膜覆盖的土壤环境效应 [J]. *干旱地区农业研究*, 2007, 25 (5): 56-59.

- [22] 范亚宁, 李世清, 李生秀. 半湿润地区农田夏玉米氮肥利用率及土壤硝态氮动态变化 [J]. 应用生态学报, 2008, 19 (4): 799–806.
- [23] 吕殿青, 杨进荣, 马林英. 灌溉对土壤硝态氮淋吸效应影响的研究 [J]. 植物营养与肥料学报, 1999, 5 (4): 307–315.
- [24] 张仙梅, 黄高宝, 李玲玲, 等. 覆膜方式对旱作玉米硝态氮时空动态及氮素利用效率的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29 (5): 26–32.
- [25] 陈顺平, 付华, 赵同科. 氮素在旱作系统作物中的吸收与转化 [D]. 北京: 首都师范大学, 2006.
- [26] 李若帆, 申丽霞, 兰印超. 不同覆膜处理对土壤水分温度及春玉米产量的影响 [J]. 中国农学通报, 2014, 30 (6): 209–214.
- [27] 任小龙, 贾志宽, 韩清芳, 等. 半干旱区模拟降雨下沟垄集雨种植对夏玉米生产的影响 [J]. 农业工程学报, 2007, 23 (10): 45–50.
- [28] 李小雁, 张瑞玲. 旱作农田沟垄微型集雨结合覆盖玉米种植试验研究 [J]. 水土保持学报, 2005, 19 (2): 45–48.
- [29] 蒋耿民, 李援农, 周乾. 不同揭膜时期和施氮量对陕西关中地区夏玉米生理生长、产量及水分利用效率的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 19 (5): 1065–1072.

Effects of plastic mulching on soil nitrate distribution and yield of maize in dryland

LI Xiao, ZHU Wei, YANG Sha-sha, WANG Heng, GONG Xue, QU Dong*, JIANG Rui* (College of Natural Resources and Environment, Northwest A & F University, Shaanxi Yangling 712100)

Abstract: A field experiment was conducted to investigate the effects of plastic film mulching on spatio-temporal distribution of soil nitrate and maize yield in drylands. Four treatments, including (1) Alternating ridges and furrow, the ridge mulched (RM); (2) Flat plot with mulching (PM); (3) Flat plot without mulching (PNM); (4) Flat plot without planting (CK), were carried out to examine the impact of tillage and mulching treatments on soil moisture, soil nitrate content ($\text{NO}_3^- - \text{N}$), maize biological characteristics and yield. Result showed that soil moisture content under mulching on 0~40 cm layer were significantly higher than that in the treatment without mulching. $\text{NO}_3^- - \text{N}$ mainly accumulated in 0~40 cm soil layer under mulching which the $\text{NO}_3^- - \text{N}$ content in 10 cm soil layer was 1.6 times higher in RM-ridge than in 10 cm soil layer in RM-furrow, and 2 times higher in 10 cm soil layer in PNM. The highest maize yield was observed in the RM treatment (but not significant). The plant dry matter in RM and PM were increased by 36.15% and 16.11% than PNM, and nitrogen per plant were increased by 13.97% and 3.59%. It was concluded that the RM treatment could keep $\text{NO}_3^- - \text{N}$ in the root zone (0~40 cm), reduce $\text{NO}_3^- - \text{N}$ leaching. Therefore, the RM treatment (alternating ridges and furrow, the ridge mulched) was recommended for maize cultivation in dryland which was win-win for economy and environment.

Key words: dry land; film mulching; nitrate; yield