

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

张仙梅¹, 黄高宝², 李玲玲², 谢军红², 陈红¹

(1. 甘肃农业大学资源与环境学院, 甘肃兰州 730070; 2. 甘肃农业大学农学院, 甘肃兰州 730070)

摘 要: 以提高玉米氮素利用效率、减少氮肥污染为目标, 在甘肃省定西市李家堡设置了露地(NM)、半膜平作(HM)、全膜平作(CM)和全膜双垄(CMRF)沟播等田间试验处理, 对其土壤剖面中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的积累强度、玉米干物质积累及氮素利用效率进行了系统研究。结果表明: 整个生育期覆膜处理在 0~10 cm 表层中 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 浓度最高, 明显高于 NM, 具有表聚现象。所有处理 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量在 140 cm 土层以下均有积累。全生育期植株平均氮素积累量表现为: $\text{CMRF} > \text{CM} > \text{HM} > \text{NM}$ 。籽粒氮积累量 CMRF 较 CM 和 NM 高出 20.48% 和 87.87%, 说明 CMRF 显著增强了植株对土壤氮的利用和氮素向籽粒的转运。生物产量 CMRF 较 HM 增产 37.60%, 经济产量增产 49.84%, 氮素收获指数 CMRF 较 HM 显著提高 22.55%。不同处理之间的 NUE 差异显著 ($P < 0.05$), CMRF 较 HM 显著提高 53.98%。

关键词: 地膜覆盖; 黄土高原; 硝态氮; 氮素利用效率; 玉米

中图分类号: S341.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)05-0026-07

氮是重要的生命元素之一, 是农业生产中不可缺少的营养物质, 同时又是日益增长的环境污染因子^[1]。氮素肥料在农业生产中占有重要的地位, 被称作农作物的“当家肥”。据估测, 世界氮肥的平均利用率为 40%~60%, 我国仅为 30%~35%^[2], 氮肥利用率低的问题已引起农研、生产部门关注。黄土高原半干旱区农田生态系统石灰性土壤残留 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的积累量平均占总矿质氮积累量的 75% 以上, 是土壤剖面中可浸取态矿质氮的主体^[3]。残留 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 本身具有很高的生物有效性, 但能否被植物吸收利用, 关键在于残留 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 所在深度及其是否能够到达根区。在半干旱区降雨量较高的雨季, $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 向深层移动, 而在较干旱条件下即使土壤剖面深层 $\text{NO}_3^- - \text{N}$, 也可随水分上移供根系利用, 因此土壤剖面中积累的残留 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 显著影响氮肥肥效果, 许多地方用一定深度土层中积累的 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 作为土壤供氮指标, 以减少 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 的淋溶损失和提高氮肥肥效^[4]。研究表明: 全世界施入土壤中的肥料, 大约有 30%~50% 经土壤淋溶进入地下水^[5]。硝态氮的淋失不仅与施入土壤氮素的数量有关系, 而且与影响土壤水分状况的覆膜方式有密切的关系。

旱地全膜双垄沟播技术集垄面集流、覆膜抑蒸、

垄沟种植技术于一体, 大幅度提高了土壤水分的利用率, 可使玉米增产 30% 以上^[6]。在 2006~2008 年的推广过程中, 玉米平均产量达到 558.30 kg/667m², 较对照半膜平铺每 667m² 增产 151 kg, 增产率 37.10%; 全膜双垄沟播技术降水利用率平均达 70% 以上, 玉米水分利用效率平均达 2.20 kg/(mm·667m²), 在旱作农田降水高效利用方面取得了重大突破^[7], 2009 年仅甘肃省应用面积在 60 万 hm² 以上^[6]。在农田生态系统作物氮素利用效率以及氮素平衡方面, 前人已经做了不少研究^[8], 对黄土高原半干旱区农田玉米硝态氮时空动态变化以及氮素利用效率研究较少, 需进一步深入研究不同覆膜方式对土壤养分和玉米氮素吸收的效应, 进而揭示土壤氮素矿化、吸收和迁移过程与硝态氮在土壤剖面的积累与分布的关系。本研究在黄土高原西部半干旱区的定西, 通过田间实验, 研究了土壤剖面 $\text{NO}_3^- - \text{N}$ 含量的时空变化规律以及不同覆膜方式对玉米籽粒产量、氮肥利用效率的影响, 旨在为该区玉米生产中科学施肥、提高氮肥利用效率、有效降低因氮素损失而造成的农田污染提供理论依据。

1 材料与方 法

1.1 试验区概况

2009 年 10 月 28 日至 2010 年 10 月 5 日在甘肃

收稿日期: 2011-03-31

基金项目: 十一五国家科技支撑计划(2006BAD15B06); 国家自然科学基金(40771132)

作者简介: 张仙梅(1984—), 女, 甘肃兰州人, 在读硕士, 主要从事旱作农业研究。E-mail: zhangxm10559@163.com。

通讯作者: 黄高宝, 男, 教授, 博士生导师, 主要从事多熟种植、保护性耕作、节水农业和宏观农业的教学与研究工作。E-mail: huanggb@gsau.edu.cn。

农业大学定西旱农综合试验站进行试验。试区属中温带半干旱区,平均海拔 2 000 m,年均太阳辐射 591.89 kJ/cm²,日照时数 2 476.6 h,年均气温 6.4℃,≥0℃积温 2 933.5℃,≥10℃积温 2 239.1℃,无霜期 140 d。多年平均降水 390.9 mm,年蒸发量 1 531 mm,干燥度 2.53,80%保证率的降水量为 365 mm,变异系数为 24.3%,为典型的雨养农业区。试验期间降水量分布如图 1 所示。试验土壤为黄绵土,试区土壤基础养分见表 1。

1.2 试验设计

试验共设 4 个处理,三次重复,分别为露地平

作、半膜平作、全膜平作和全膜双垄沟播,见表 2。

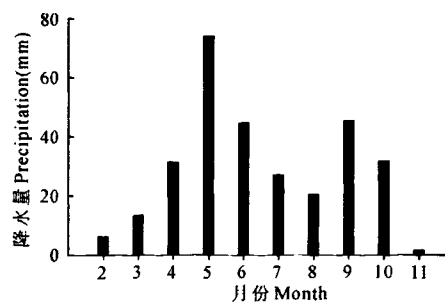


图 1 2010 年玉米生长期季节降水量

Fig. 1 Precipitation during corn growth period in 2010

表 1 播种前土壤基础养分状况(2010 年 4 月 5 日)

Table 1 Soil fertility status before sowing on Apr.5, 2010

土壤指标 Soil indices	土壤深度 Soil depth (cm)							
	0~10	10~30	30~50	50~80	80~110	110~140	140~170	170~200
pH 值	8.37	8.37	8.32	8.32	8.41	8.43	8.43	8.42
容重 Bulk density(g/cm ³)	1.26	1.26	1.17	1.14	1.13	1.12	1.11	1.11
有机碳 Organic carbon(g/kg)	10.00	9.52	9.71	8.56	9.82	9.96	8.85	8.65
全氮 Total N(g/kg)	0.97	0.85	0.94	0.85	0.8	0.83	0.76	0.78
铵态氮 NH ₄ ⁺ -N(mg/kg)	1.27	1.17	0.89	0.79	0.66	0.73	0.73	0.76
硝态氮 NO ₃ ⁻ -N(mg/kg)	17.64	8.71	3.18	2.49	4.21	4.52	3.71	2.88

表 2 试验处理

Table 2 Treatment descriptions

代号 Codes	处理 Treatments	操作方法 Descriptions
NM	露地平作 Flat-planting with no mulching	前茬收获后翻耕耙耱,露地休闲。翌年 5 月初宽窄行播种。 Plowing and raking after harvesting the previous crop, leaving field fallow. Sowing in wide-narrow rows in early May. next year.
HM	半膜平作 Half-mulching and flat-planting	前茬收获后翻耕耙耱,10 月下旬覆地膜,膜宽 40 cm,间距 70 cm。翌年 5 月初穴播点种。 Plowing and raking after harvesting the previous crop, half-mulching with its width 40 cm, spacing 70 cm later Oct. Sowing in holes in early May. next year.
CM	全膜平作 Complete-mulching and flat-planting	前茬收获后翻耕耙耱,10 月下旬覆地膜,膜宽 120 cm,覆全膜。翌年 5 月初穴播点种。 Plowing and raking after harvesting the previous crop, complete-mulching with its width 120 cm later Oct. Sowing in holes in early May. next year.
CMRF	全膜双垄沟播 Completely mulched alternating narrow and wide ridges with furrow planting	前茬收获后翻耕耙耱,10 月下旬起垄覆膜,小垄宽 40 cm,垄高 15 cm;大垄宽 70 cm,垄高 10 cm,步犁起垄,覆全膜,膜宽 120 cm。翌年 5 月初穴播点种。 Plowing and raking after harvesting the previous crop, ridging with a walking plow and completely mulched alternating narrow and wide ridges later Oct., big ridges with its width 70 cm and height 10 cm, smaller ones 40 cm and 15 cm. Sowing in holes in early May. next year.

试验覆膜时期为 2009 年 10 月 28 日。半膜覆盖用宽 80 cm,厚 0.008 mm 地膜;全膜覆盖用宽 120 cm,厚 0.008 mm 地膜。试验前茬为全膜双垄沟播玉米,供试品种为承单 20 号,播种期为 2010 年 5 月 2 日,收获期为 2010 年 10 月 5 日。播种量为 45 kg/hm²,种植密度 5.25 万株/hm²,覆膜前各处理一次性施入纯氮 200 kg/hm²、磷 144 kg/hm²,其他管理同大田。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土样采集 分别于 2010 年 4 月 5 日、6 月 21 日、7 月 18 日、8 月 9 日、10 月 5 日采集玉米播前、苗期、大喇叭口期、开花期、收获期土样。用土钻法钻取 0~10 cm、10~30 cm、30~50 cm、50~80 cm、80~110 cm、110~140 cm、140~170 cm、170~200 cm 等 8 个土层土样。测定位置:CMRF 处理各小区设大垄、垄沟、小垄三个点;HM 处理设膜上和膜外两个点,

其它处理随机设三点。各测点保持在同一线上,种植行内定在两棵玉米中间,大、小垄定在垄中间,半膜膜外定在宽行中间。最后所有土样进行了同层次、同类型混合。硝态氮供测土壤保鲜处理。

1.3.2 土壤硝态氮、铵态氮和全氮测定 硝态氮和铵态氮测定前用 60 ml 2 mol/L 的 KCl 浸提(水土比为 5:1),浸提液冷冻保存。全氮测定前用硫酸铜-硫酸钾-硫酸消解。测定时使用德国 Bran-Luebbe 公司生产的 AA3 型连续流动分析仪,参数为:进样速度 40 个/h,清洗比率 3:1,基线 5%,主峰 80%左右。

1.3.3 生长季玉米生物量测定 玉米地上部干物质分别于 7 月 19 日(大喇叭口期)、8 月 10 日(抽雄吐丝期)、和 10 月 5 日(完熟期),在各小区每次连续随机采取 3 株玉米,利用器具将植株从近地面剪下后,将玉米各器官(叶、茎、苞叶和穗轴、籽粒等)分开,然后将植物样品杀青后于 65℃~75℃下烘至恒重,每次称量记录生物量干重,并换算为每公顷生物量。

收获时去掉边行及每行头 2 株,齐地收割。收获后立即称叶、茎、苞叶和穗轴、籽粒鲜重,然后将各部分晒干称其干重后,再从各器官中取部分样品烘干,粉碎获得待测样品。

1.3.4 玉米不同器官氮素积累量 全氮含量用 H₂SO₄(浓)-H₂O₂ 消煮,使用 AA3 型连续流动分析仪测定。

1.3.5 公式计算

植株氮素积累量(kg/hm²) = (籽粒全氮含量(g/kg) × 籽粒产量(kg/hm²) + 茎秆全氮含量(g/kg) × 茎秆产量(kg/hm²) + 叶片全氮含量(g/kg) × 叶片产量(kg/hm²) + 苞叶和穗轴全氮含量(g/kg) × 苞叶和穗轴产量(kg/hm²) × 1000

氮收获指数(Nitrogen harvest index) = 籽粒中氮积累量(kg/hm²)/植株氮素积累量(kg/hm²) × 100%

氮素利用效率(Nitrogen use efficiency, NUE, %) = 植株吸氮量(kg/hm²)/播前土壤 NO₃⁻-N 积累量(kg/hm²) + 施氮量(kg/hm²) × 100^[9]

上式中不包括铵态氮,因为铵态氮含量非常低(≤1 mg/kg)。也不包括在生育期内的土壤有机质氮矿化。

1.3.6 统计分析 采用 SPSS16.0 与 Excel 软件进行方差分析和显著性检验;所有数据用 Origin8.0 数据分析与科学绘图软件处理。

2 结果分析

2.1 不同覆膜方式土壤剖面硝态氮含量的时空动态变化

图 2 是玉米不同生育期 0~200 cm 土壤剖面

NO₃⁻-N 含量的动态变化。结果表明,随着土层加深,不同处理从 4 月 5 日到 10 月 5 日整个生育期土壤剖面 NO₃⁻-N 含量总的动态变化趋势为 0~80 cm 显著下降,变化幅度最高达 18.14 mg/kg,80~140 cm 变化趋势不明显,140~200 cm 有所增加。整个生育期覆膜处理在 0~10 cm 表层中 NO₃⁻-N 浓度最高,明显高于 NM。可能是由于地膜覆盖改变了土壤中的水热状况和生物性质,因而也必然影响与土壤生物过程密切相关的土壤氮素转化过程,从而影响 NO₃⁻-N 在土壤剖面中的积累。从 4 月 5 日玉米播前到 7 月 18 日大喇叭口期,由于降水量比较多,表层大量残留的 NO₃⁻-N 很容易淋溶到根层以下或通过反硝化作用损失掉,对环境产生一定的危害。各处理表层自 8 月 9 日后,土壤 NO₃⁻-N 含量与深层含量之间差异减小,玉米生长后期,由于植株对土壤剖面中 NO₃⁻-N 的大量吸收利用,表层 NO₃⁻-N 含量已降低至较低水平。0~30 cm 土层 NM 在 6 月 21 日和 8 月 9 日 NO₃⁻-N 含量显著增加,这是因为 NM 处理玉米的植株蒸发,促使 30 cm 下层 NO₃⁻-N 随水分上移的原因,覆膜处理则呈曲折下降的趋势,这主要是覆膜玉米根系对中下层 NO₃⁻-N 吸收利用的结果。特别在 7 月 18 日~8 月 9 日,CRMF 和 CM 随着生育期推进呈剧烈下降趋势,分别下降了 7.39 mg/kg 和 9.06 mg/kg,说明玉米从大喇叭口期到抽雄期进入生长旺季。在 30~80 cm 土层各处理 NO₃⁻-N 含量到 6 月 21 日下降剧烈,下降幅度 HM(7.30) > CM(2.46) > CRMF(1.93) > NM(0.65)。吴永成等^[10]研究认为在玉米生育期降水影响了氮肥发生淋溶,在 80~110 cm 土层整个生育期 CRMF 的硝态氮含量较其它处理有所增加,这可能与 CRMF 的集雨作用对 NO₃⁻-N 有一定的淋溶作用有关。在 80~140 cm 土层各处理 NO₃⁻-N 含量随生育期推进整体变化不明显。除 NM 外,在 140~200 cm 土层各处理 NO₃⁻-N 含量增加,在 170~200 cm 土层 10 月 5 日玉米完熟期,CRMF 和 CM NO₃⁻-N 含量呈一定程度上升趋势,而 NM 和 HM 趋于稳定,但总体上比播种前有所下降。这是因为全膜处理耕层土壤水分条件较好,温度又较高,仍有利于土壤有机氮的矿化,而在这一时期,玉米对 NO₃⁻-N 的吸收能力减弱,需要量减小,因而在土壤剖面中发生 NO₃⁻-N 的积累。可见无论覆膜与否,覆膜方式及玉米吸收对土壤剖面 NO₃⁻-N 的影响主要在 80 cm 土层以上。

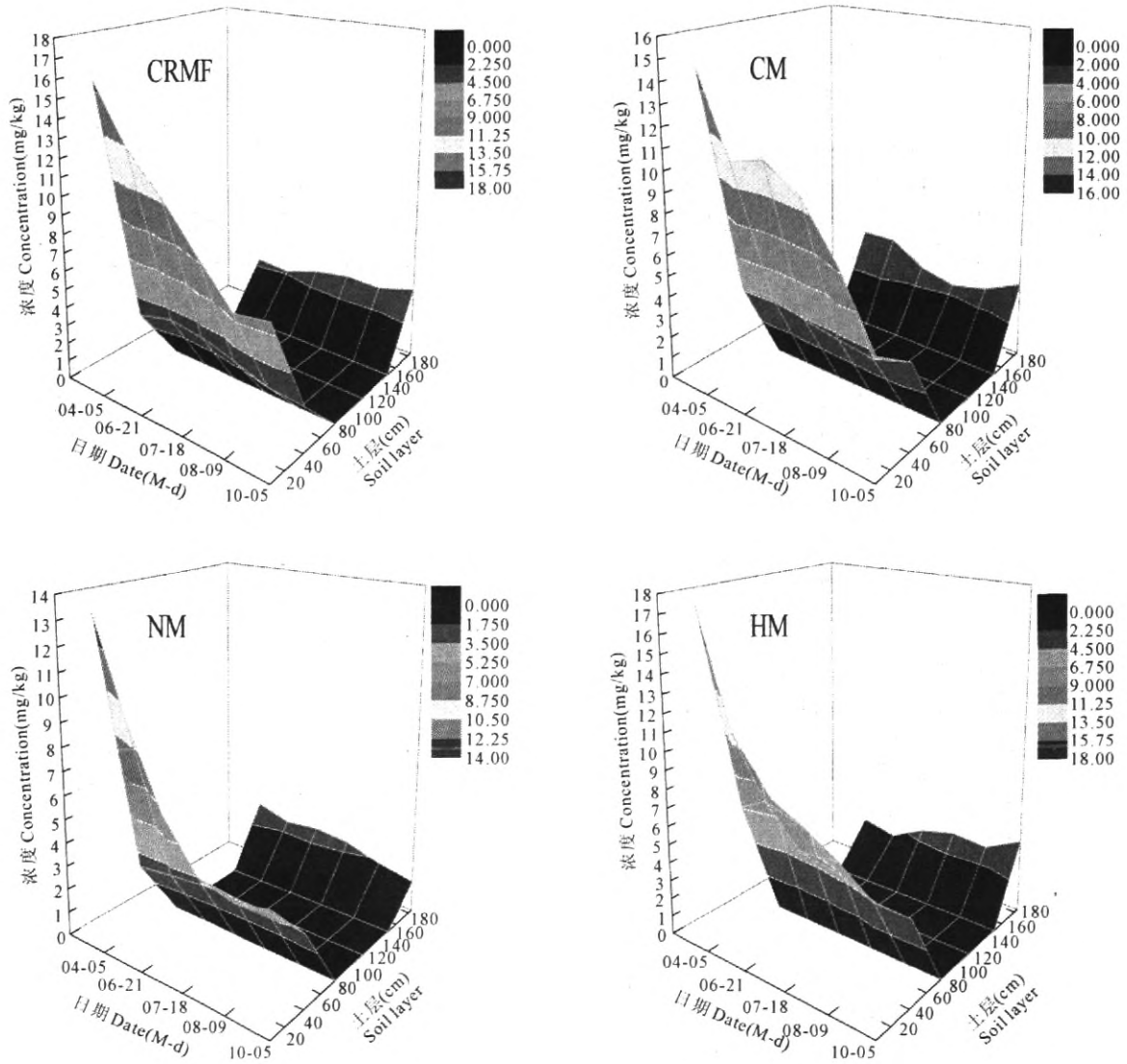


图 2 土壤硝态氮的时空变化特征

Fig.2 Spatio-temporal dynamics of soil nitrate nitrogen

2.2 不同覆膜方式对干物质积累的影响

不同处理干物质积累如表 3 所示。从表 3 看出,在玉米营养生长期,叶片和茎秆干物质积累迅速,在 8 月开花期达到最大;进入玉米生殖生长期,叶片和茎秆干物质出现一定下降趋势,可能主要与叶片和茎秆中同化产物向籽粒转移有关。玉米在 7 月拔节以后进入快速生长阶段,干物质积累加快。

不同覆膜处理显著影响玉米干物质积累。从苗期开始,由于地膜覆盖显著促进了玉米苗期生长,7 月以后为玉米干物质积累量增长的最大时期,也是水肥效应表现最为明显的时期,全膜处理较 HM 和 NM 植株保持着较高生物量,CMRF 因为冻害重新补种,CMRF 和 CM 干物质积累相当。总生物量 CM

(5 749.30 kg/hm²)显著高于 NM(3 908.51 kg/hm²)。随着玉米的不断生长,不同覆膜方式之间的差距缩小。8 月以后 CMRF 比其他三种处理在玉米生长的关键时期表现出更为明显的优势。总生物量 CMRF (10 628.10 kg/hm²) > CM(10 221.58 kg/hm²) > HM (8 839.80 kg/hm²) > NM(6 390.58 kg/hm²)。在 10 月完熟期,各处理干物质积累达到最高,全膜双垄沟 (CMRF)最高,较 CM、HM、NM 处理分别高出 6.96%, 37.60%, 144.46%。不同覆膜处理显著影响玉米籽粒产量,CMRF 比 CM 和 HM 分别增产 6.96%、49.84%,NM 没产量。这与程俊珊^[11]等人的研究结果覆膜具有增产的作用一致。

表 3 不同处理对不同生育时期的干物质积累的影响 (kg/hm²)

Table 3 The effect of different treatments on dry matter accumulation during different growing season

时间 Date	处理 Treatment	叶片 Leaf	茎秆 Stalk	苞叶和穗轴 Brac and cob	籽粒 Grain	总生物量 Dry matter accumulation
2010-07-19	CMRF	2761.33a	2632.88a	—	—	5394.20a
	CM	2455.33b	3293.97a	—	—	5749.30a
	NM	2371.43bc	1537.08b	—	—	3908.51b
	HM	2201.21c	1796.43b	—	—	3997.64b
2010-08-10	CMRF	3659.42a	5513.73a	1454.96ab	—	10628.10a
	CM	3429.75a	5053.30b	1738.53a	—	10221.58a
	NM	2938.65b	2695.11d	756.82c	—	6390.58c
	HM	3508.33a	4324.51c	1006.96bc	—	8839.80b
2010-10-05	CMRF	2400.01a	4513.73a	1164.26a	7396.50a	15474.50a
	CM	2129.75a	4053.30b	1126.76a	7158.25a	14468.06a
	NM	2105.32a	3261.78c	962.87ab	—	6329.96b
	HM	2208.33a	3324.51c	777.00b	4936.25b	11246.10b

注:相同字母者差异不显著 $P < 0.05$ 。

Note: Means with same letters are not significantly different at $P < 0.05$.

2.3 不同覆膜方式玉米各器官氮动态积累和分配规律

一般来说,作物生长过程中,由于植株干物质的积累速率大于养分吸收速率,养分在植株体内的含量呈下降趋势^[12]。养分的积累量总体呈增加趋势,收获时也可能有所下降。如图 3 所示,不同覆膜方式下玉米营养器官氮素积累动态变化规律基本一致,且积累趋势与干物质积累基本同步。在各覆膜处理下,玉米营养器官随着生育期的推进而显著增加,在 8 月 10 日达到最大,然后随着玉米的生长开始明显降低。不同处理的氮素积累量显著不同,全生育期植株平均氮素积累量表现为 CMRF > CM > HM > NM。玉米不同部位氮素积累量以籽粒最高,叶片、茎秆次之,苞叶和穗轴最少。

除了 NM,营养器官氮素积累量随着生育期的推进先增加后减小,在 7 到 8 月 CMRF 和 CM 的叶片和茎秆氮素积累量显著高于 HM 和 NM;HM 和 NM 的叶片和茎秆氮素积累量差异不显著,说明 CMRF 提前进入生殖时期,养分向籽粒转移。到 10 月 5 日,叶片氮素积累量差异不显著,茎秆氮素积累量差异显著,NM 茎秆氮素积累量增加较大,因为氮养分没有向籽粒转移。

10 月 5 日完熟期各处理间籽粒氮素积累量差异显著(见图 3)。其中 CMRF 和 CM 籽粒氮素积累量相对较高,显著高于 NM 与 HM,后两者间差异不明显。以上结果表明,全膜覆盖利于氮素向籽粒转移,且 CMRF 效果优于 CM。

2.4 不同覆膜方式对植株氮肥利用的影响

从表 4 可以看出,不同处理间氮素利用效率和收获时植株总氮差异显著,以 CMRF 最高,与不覆膜

的 NM 相比,CMRF、CM、HM 氮素利用效率和植株总氮分别提高了 152.04%、124.92% 和 63.69%;CMRF 籽粒中氮素积累量最高,CMRF 与 CM 和 HM 相比籽粒氮素积累量分别提高了 20.48% 和 87.87%。不同处理间的氮素收获指数存在明显差异,CMRF 氮收获指数最大为 76.19%,说明植株吸收的氮素更多地转移到籽粒中。CMRF 和 CM 氮素收获指数差异不显著,表明在旱地玉米生产中,覆全膜可促进氮素由营养器官向生殖器官转移。

3 结论与讨论

1) 研究发现整个生育期覆膜处理 0~10 cm 土层 NO₃⁻-N 含量明显高于不覆膜处理,并且 CMRF > CM > HM。从 7~8 月玉米进入生长旺季,在 0~30 cm 土层 CMRF 和 CM 随着生育期推进呈剧烈下降趋势,分别下降了 7.39 mg/kg 和 9.06 mg/kg,说明全膜处理在 0~30 cm 土层玉米长势较快,根系对 NO₃⁻-N 的吸收较其它处理高。各处理 80 cm 以上和 140~200 cm 的土壤中 NO₃⁻-N 含量高,80~140 cm 则含量低,这与施肥、作物吸收利用及 NO₃⁻-N 在土壤剖面中的移动等有关。由于施肥、土壤“释放”及 NO₃⁻-N 随土壤水分上移,0~80 cm 土层 NO₃⁻-N 含量高,由于 NO₃⁻-N 向土壤深层的逐渐淋溶,导致在 140~200 cm 土层含量也较高,由于作物常年摄取、向下及向上同时运移等原因,80~140 cm 土层土壤中 NO₃⁻-N 含量较低。这与周顺利等^[13]人的“0~100 cm 土壤剖面 NO₃⁻-N 在春玉米一生的分布均为中间土层低,上层和下层含量高”结论是一致的。

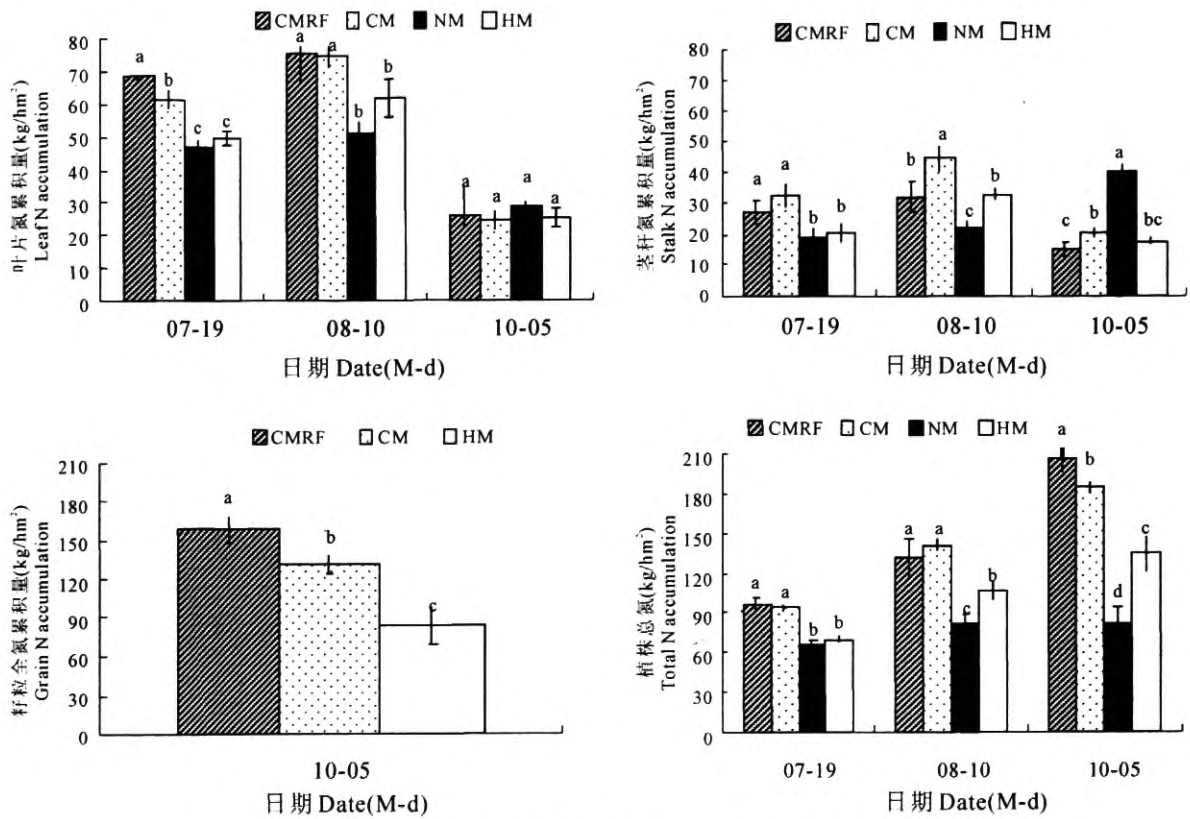


图 3 不同处理玉米各器官氮积累动态与分配(相同字母者差异不显著 $P < 0.05$)

Fig.3 Dynamic accumulation and distribution of N in each organ of maize with different treatments (Means with same letters are not significantly different at $P < 0.05$)

表 4 玉米产量与氮素利用效率和氮收获指数

Table 4 The yield, nitrogen use efficiency and nitrogen harvest index of summer maize

处理 Treatment	生物产量 Biomass yield (kg/hm ²)	籽粒产量 Grain yield (kg/hm ²)	氮素利用效率 Nitrogen use efficiency (%)	植株总氮 Plant total N (kg/hm ²)	籽粒氮积累量 Grain N (kg/hm ²)	氮收获指数 Nitrogen harvest index (%)
CMRF	15474.50a	7396.50a	66.53a	207.26a	157.97a	76.19a
CM	14468.06a	7158.25a	59.37b	184.96b	131.11b	70.87a
NM	6329.96c	—	26.40d	82.23d	—	—
HM	11246.10b	4936.25b	43.21c	134.60c	84.08c	62.17b

注:相同字母者差异不显著 $P < 0.05$ 。

Note: Means with same letters are not significantly different at $P < 0.05$.

2) 覆膜方式显著影响玉米干物质积累,覆膜处理玉米各生育时期干物质总积累量及籽粒干物质积累量均显著高于不覆膜处理,说明在黄土高原旱作地区,地膜覆盖显著提高玉米干物质积累量,促进同化物向籽粒转移而增加籽粒产量。覆膜增加了植株和籽粒中氮的积累量且效果显著。CMRF、CM、HM较NM收获时植株总氮积累量分别提高了152.04%、124.92%和63.69%,全膜处理玉米地上部及籽粒氮素积累量显著高于HM和NM,与产量高低具有一致性,这与徐洪敏^[14]的结论是一致的。在本研究中,各处理成熟期氮积累量植株各器官所占

比例(除NM处理)基本一致,玉米各营养器官中的氮肥最终绝大部分转移到籽粒,氮素积累量以籽粒最高,叶片、茎秆次之,苞叶和穗轴最少。这与陈顺平等^[15]的结论“完熟期时,春玉米各器官氮素积累量的大小顺序为:籽粒 > 叶片 > 苞叶和穗轴 > 茎秆 > 叶鞘 > 雄穗”是有差异的,原因有待进一步研究。

3) 在黄土高原地区,全膜双垄沟播技术通过提高玉米生物量、氮积累量、氮素收获指数等指标来显著提高产量(比HM显著增产49.84%),同时还有助于降低氮肥可能带来的环境污染。8月以后CMRF的总生物量最高达10 628.10 kg/hm²,NM最低为

6 390.58 kg/hm²,且在 0~30 cm 土层 NO₃⁻-N 的含量也是 CMRF 最低,说明植株吸收的氮越多,NO₃⁻-N 的残留量越少。在 10 月各处理干物质积累达到最高,CMRF 较 CM、HM、NM 分别高出 6.96%,37.60%,144.46%。这可能是因为全膜双垄沟播栽培由于抑制了土壤无效蒸发,集雨保墒效果明显,增加了土壤含水量,极显著地提高了土壤水分的利用效率(较常规半膜平作提高 14.83%)^[16],也必然影响到作物生长微生态环境中的养分状况。吴永成等^[10]认为,玉米根系分布浅、土壤供氮能力强和难以避免的氮素淋洗下渗是造成玉米氮肥利用效率不高的重要原因。CMRF 的氮素利用效率和氮收获指数最高,分别为 66.53% 和 76.19%,从提高氮素利用效率及产量角度考虑,CMRF 和 CM 是较理想的黄土高原旱地玉米种植模式。

参 考 文 献:

- [1] 袁新民,王周琼.硝态氮的淋洗及其影响因素[J].干旱区研究,2000,17(4):46—52.
- [2] 中国农业科学院土壤肥料研究所.中国肥料[M].上海:上海科学技术出版社,1994,3—5.
- [3] 高亚军,李 云,李生秀,等.旱地小麦不同栽培条件对土壤硝态氮残留的影响[J].生态学报,2005,25(11):2901—2910.
- [4] 赵 琳,李世清,李生秀,等.半干旱区生态过程变化中土壤硝态氮积累及其在植物氮素营养中的作用[J].干旱地区农业研究,2004,22(4):14—20.
- [5] Exner M E. Nitrogen leaching during sprinkler irrigation of a dutch clay soil[J]. Water Resource Research,1979,15:139—147.
- [6] 杏 东,强世军.甘肃省不同旱作区全膜双垄沟播玉米增产效果研究[J].甘肃农业科技,2009,(8):9—12.
- [7] 贺 峰.在甘肃推广玉米全膜双垄沟播栽培技术的必要性分析[J].粮经栽培,2008,13:12—14.
- [8] 范亚宁.半湿润农田生态系统作物-杂草体系氮素营养研究[D].杨凌:西北农林科技大学,2008:1—122.
- [9] Huang G B, Zhang R Z, Li G D. Productivity and sustainability of a spring wheat - field pea rotation in a semi - arid environment under conventional and conservation tillage systems [J]. Field Crops Reasearch,2008,107:43—55.
- [10] 吴永成,周顺利,王志敏,等.华北地区夏玉米土壤硝态氮的时空动态与残留[J].生态学报,2005,25(7):1620—1625.
- [11] 程俊珊.渭源地区旱地玉米覆膜种植增温效应及高产增效研究初报[J].干旱地区农业研究,2006,24(1):39—42.
- [12] 董 钻,谢甫绵.大豆氮磷钾吸收动态及模式的研究[J].作物学报,1996,22(1):89—95.
- [13] 周顺利,张福锁,王兴仁.土壤硝态氮时空变异与土壤氮素表现盈亏研究 I. 冬小麦[J].生态学报,2001,21(11):1782—1789.
- [14] 徐洪敏.栽培模式对黄土高原南部旱作春玉米干物质积累及水、氮利用效率的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2010:1—53.
- [15] 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,2006:4—59.
- [16] 黄高宝,方彦杰,李玲玲,等.旱地全膜双垄沟播玉米高效用水机制研究[J].干旱地区农业研究,2010,28(6):116—121.

Effects of mulching patterns on spatio-temporal variation of soil nitrate and nitrogen utilization efficiency of maize on dry land

ZHANG Xian-mei¹, HUANG Gao-bao², LI Ling-ling², XIE Jun-hong², CHEN Hong¹

(1. College of Resource and Environment Science, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. College of Agronomy, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: A field experiment in Lijiabu, Dingxi City of Gansu province, was carried out based on improving nitrogen use efficiency and reducing the pollution of nitrogen fertilizer. Four treatments, namely flat-planting with no mulching (NM), half-mulching and flat-planting(HM), complete-mulching and flat-planting(CM), completely mulched alternating narrow and wide ridges with furrow planting(CMRF), were designed to study accumulation of residual NO₃⁻-N and dynamic accumulation and distribution of dry matter and nitrogen use efficiency. The results showed that in the whole growth period of mulching treatments NO₃⁻-N content of 0~10 cm soil layer was highest and were significantly higher than that of NM, indicating there existed NO₃⁻-N surface accumulation in mulching treatments. NO₃⁻-N content of all treatments under 140 cm soil layer was accumulated. The average nitrogen accumulation in the whole growth period was: CMRF > CM > HM > NM. Compared with CM and NM, grain nitrogen accumulation of CMRF was increased by 20.48% and 87.87%, showing that CMRF significantly enhanced plants nitrogen utilization from soil, as well as transport of nitrogen to grain Biomass yield of CMRF was 37.60% higher than that of HM, maize yield was increased by 49.84%, and nitrogen harvest index was significantly increased by 22.55% compared with HM. During different treatments nitrogen use efficiency of maize was significantly different at 0.05 level, CMRF was significantly increased by 53.98% than NM.

Keywords: Mulching; Loess plateau; Nitrate; Nitrogen use efficiency; Maize