

旱地小麦地表覆盖对土壤水分硝态氮累积分布的影响

李 华, 王朝辉*, 李生秀

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要:在黄土高原南部半湿润易干旱地区,通过长期田间定位试验,研究了不同地表覆盖对第3季冬小麦生长、氮素吸收及土壤水分和硝态氮累积分布的影响。结果表明,无论地表覆盖能否促进小麦生长及其对氮素的吸收,在收获期均能提高表层土壤水分;覆膜栽培增加表层硝态氮含量,覆草也在高量施用氮肥时,提高表层硝态氮的累积。而地表覆盖对耕层以下土壤水分和硝态氮累积的影响与施氮量、作物生长及其对氮素吸收利用有关。覆膜在促进作物生长、提高氮素吸收的同时,降低了深层土壤水分及其硝态氮的累积,且随施氮量的增加降低幅度增大;覆草在不施氮肥和施氮 $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时未能促进小麦生长,但有增加深层土壤水分的趋势,而高量施用氮肥,明显提高了小麦地上部生物产量及其对氮素的吸收,降低了深层土壤水分;同时发现,无论施氮与否覆草均降低了下层土壤硝态氮的累积。在高量施用氮肥的情况下,采用地表覆盖,不仅能够促进作物生长、提高氮素吸收,还能有效降低氮素在土壤中的累积及其向下层淋溶。

关键词:覆膜;覆草;施氮;硝态氮;水分;冬小麦

中图分类号:S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)07-1371-07

Effect of Different Soil Surface Treatment on Moisture and Nitrate Nitrogen Accumulation and Distribution in Wheat Field Soil Profiles in Dryland

LI Hua, WANG Zhao-hui*, LI Sheng-xiu

(College of Resources and Environmental Sciences, Northwest A&F University, Yangling 712100, China)

Abstract: A long-term field experiment was conducted in a sub-humid area prone to droughts at south part of the Loess Plateau, to study the effects of different soil surface treatment on winter wheat growth and nitrogen uptake, water and nitrate nitrogen accumulation and distribution in soil profiles. The results showed that, soil water and $\text{NO}_3^- \text{N}$ in 0~20 cm obviously increased under plastic sheet mulching with the three N rates, while under wheat straw mulching, soil moisture increased too, and $\text{NO}_3^- \text{N}$ also significantly increased in high N ($240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$). However influence of different soil surface mulching on soil moisture and nitrate nitrogen in deep soil layers varied with N rate, wheat growth and N uptake. Plastic sheet mulching promoted crop growth and N uptake, at the same time, decreased soil water and $\text{NO}_3^- \text{N}$, and the amounts of them were larger with the N rate increased. Wheat straw mulching didn't increase crop growth and had the trend of increasing soil water in deep soil layers at N rates of $0 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $120 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$. When N rate increased to $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, wheat straw mulching increased shoot biomass and N uptake obviously, and decreased soil water in deep soil layers. Wheat straw mulching decreased $\text{NO}_3^- \text{N}$ in deep soil layers at the three N rates. Therefore, soil surface mulching with high N rate not only increased crop growth and N uptake, but also decreased the amount of nitrate nitrogen accumulation in 0~300 cm and reduced nitrate nitrogen leaching into deep soil layers.

Keywords: plastic sheet mulching; wheat straw mulching; N fertilization; nitrate nitrogen; soil moisture; winter wheat

西北黄土高原旱作农业区,年降水量少,季节分布不均,且田间蒸发量大,使这一地区农作物经常处

在水分胁迫环境。充分利用有限的天然降水,实施高效节水农业,是这一地区农业可持续发展的必由之路。以地膜覆盖、秸秆覆盖为主的地表覆盖栽培是提高旱地土壤贮水和作物产量的一个重要措施,并在北方旱区大面积推广应用^[1-5]。地表覆草、覆膜不仅可有效降低土壤表面水分无效蒸发^[6-9],覆草还可增加对降水的拦储和促进水分向土壤下层入渗^[10],覆膜具有提墒作用,使中下层水分向上移动^[7],从而提高土壤水分

收稿日期:2010-11-12

基金项目:国家自然科学基金(30871596, 30971866),农业公益性行业科研专项经费项目(201103003),现代农业产业技术体系建设专项资金

作者简介:李 华(1978—),女,陕西蒲城人,博士,主要从事氮素营养与生态效应研究。E-mail:lihua.782003@yahoo.com.cn

* 通讯作者:王朝辉 E-mail:w-zhaohui@263.net

利用效率。此外,覆膜还能提高土壤温度,增加微生物数量和活性,活化土壤养分,提高土壤养分利用率^[11-12];覆草能够平抑地温,增加微生物数量和活性,提高土壤有机质含量,改善土壤理化性状等^[13-15]。

硝态氮是干旱半干旱地区作物吸收利用氮素的主要形态,其在土壤中的累积是施肥、作物吸收和土壤水分入渗等因素相互作用的结果。硝态氮带负电荷,很难被土壤胶体吸附,极易随水淋溶,故其在土壤剖面的迁移和分布与土壤水分状况及作物对土壤水分的利用密切相关^[16-17]。也就是说,若土壤中累积的硝态氮不被作物及时吸收利用,就会在降雨作用下淋出作物根区,不仅降低氮肥利用率,还会引起一系列环境问题^[18]。但研究发现在黄土高原地区,土壤质地疏松、土层深厚,在干旱而有毛管水移动时,硝态氮还会随水上移,供作物吸收利用^[9]。因此在干旱半干旱地区,以提高水分利用效率,减少硝态氮在土壤中残留为目标,研究不同地表覆盖栽培条件下土壤水分和硝态氮淋移和利用情况尤为重要。本文在黄土高原南部半湿润易旱区,通过田间长期定位试验,研究了覆盖栽培小麦收获期的产量、氮素吸收及 0~300 cm 土层土壤的水分分布、硝态氮累积情况,以期优化旱地栽培,提高作物产量和水肥效率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地位于陕西杨凌西北农林科技大学农作一站。该站位于黄土高原南部,属半湿润易旱地区。海拔 520 m,年均气温 12.9 ℃,年均降水量 550 mm 左右。年内降雨分布不均,60%左右集中在 7—9 月;年均蒸发量 1 400 mm。供试田块耕层土壤的基本理化性状为:土壤容重 1.35 g·cm⁻³,有机质 13.79 g·kg⁻¹,全氮 1.07 g·kg⁻¹,硝态氮 5.43 mg·kg⁻¹,铵态氮 2.41 mg·kg⁻¹,有效磷(Olsen-P)15 mg·kg⁻¹,速效钾 182 mg·kg⁻¹,pH 8.25。

1.2 试验设计

本试验为长期定位试验,从 2002 年秋播开始。采用裂区设计,主区因子为地表处理,设无覆盖(当地传统方式)、覆草(出苗后,作物行间覆盖麦秸,用量为 4 500 kg·hm⁻²)和覆膜(出苗后小麦行间覆盖地膜);副区因子为施氮处理,设不施氮(N0),施氮 120 kg·hm⁻²(N120)和 240 kg·hm⁻²(N240),小区面积 28.8 m²,重复 4 次。氮肥用尿素,以基肥一次施入。所有处理均施用磷肥作基肥,施用量为 P₂O₅ 100 kg·hm⁻²,磷

肥品种为过磷酸钙。

试验为冬小麦一年一熟制,小麦收后夏季休闲。冬小麦品种为当地广泛种植的小偃 22,于每年 10 月中旬播种,第 2 年 6 月上旬收获,播量 135 kg·hm⁻²,行距 20 cm。整个生育期无灌溉,田间管理与当地栽培相同。

1.3 土壤样品采集与测定

冬小麦收获后,用直径为 4 cm 的土钻采集土样。在每小区采集 2 点,每 20 cm 为一个土层,采至 300 cm。同一小区同一土层 2 点土样混合后,装入编号的塑料袋中,带回实验室后立即用烘干法(105 ℃,24 h)测定土壤含水量。用四分法取 500 g 左右风干,碾磨过 1 mm 筛,用 1 mol·L⁻¹ 的 KCl 溶液按水土比 10:1 浸提,振荡 1 h,过滤,用连续流动分析仪测定滤液中 NO₃-N 含量。

1.4 植物样品采集与测定

每小区随机取 2 行,各采集 50 cm 长的植株,剪去根。将地上部植株分为茎叶、穗称鲜重。然后取部分样品在 90 ℃下杀青 30 min,65 ℃烘干,取得干重。并将穗分为籽粒和颖壳,分别称重。植物样品粉碎后,用 H₂SO₄-H₂O₂ 法消煮,凯氏定氮仪测定全氮。

2 结果与分析

2.1 对冬小麦籽粒产量和地上部生物量的影响

不同施氮量下地表覆盖对冬小麦地上部生物量和籽粒产量的影响结果见表 1。对表 1 分析发现,地表覆盖对冬小麦地上部生物量和籽粒产量的影响随施氮量而变化。不施氮肥各地表处理间无显著差异。施用氮肥,覆膜显著促进了作物生长,施氮 120 kg·hm⁻² 和 240 kg·hm⁻² 时,籽粒产量分别比同氮量下未覆盖增加 13.7% 和 23.0%,生物量增加 18.7% 和 18.8%,亦显著高于覆草;而覆草在大量施用氮肥的情况下,也能明显促进小麦生长,增加地上部生物量。

2.2 对冬小麦地上部和籽粒吸氮量的影响

不同施氮量下地表覆盖对冬小麦地上部和籽粒吸氮量的影响结果见表 2。由表 2 可知,施氮 120 kg·hm⁻²,小麦地上部和籽粒吸氮量地表处理间无显著差异,而不施氮肥和施氮 240 kg·hm⁻² 时,差异达显著水平。这 2 个氮水平下,覆膜较未覆盖地上部吸氮量分别增加 24.7% 和 21.0%,籽粒吸氮量增加 29.2% 和 22.0%;覆草也明显提高了地上部和籽粒对氮素的吸收。不施氮时,覆草地上部和籽粒吸氮量分别较未覆盖增加 12.6% 和 12.0%,施氮 240 kg·hm⁻² 增加 12.3%

表 1 不同施氮量下地表覆盖对冬小麦地上部生物产量和籽粒产量的影响

地表处理 Soil surface treatment	地上部生物量 Shoot biomass/kg·hm ⁻²				籽粒产量 Seed yield/kg·hm ⁻²			
	N0	N120	N240	平均 Average	N0	N120	N240	平均 Average
未覆(NM)	9 203 a	11 069 b	12 712 b	10 995 b	3 454 a	4 612 b	5 257 b	4 441 b
覆草(WSM)	9 479 a	11 616 b	13 723 ab	11 606 b	3 656 a	4 680 b	5 616 b	4 651 b
覆膜(PSM)	10 063 a	13 143 a	15 100 a	12 769 a	4 079 a	5 241 a	6 464 a	5 261 a

注(Note):未覆-Non-mulching(NM);覆膜-Plastic sheet mulching(PSM);覆草-Wheat straw mulching(WSM);处理间不同字母表示差异达到 $P<0.05$ (LSD)显著水平,下同。Different letters in each column indicate significantly different at $P<0.05$ level,same as follows.

表 2 不同施氮量下地表覆盖对冬小麦地上部和籽粒吸氮量的影响

地表处理 Soil surface treatment	地上部吸氮量 N uptake in shoot/kg·hm ⁻²				籽粒吸氮量 N uptake in seed/kg·hm ⁻²			
	N0	N120	N240	平均 Average	N0	N120	N240	平均 Average
未覆(NM)	82.3 b	148.1 a	182.0 b	137.5 a	59.8 b	105.0 a	127.7 b	97.5 b
覆草(WSM)	92.7 ab	142.5 a	204.5 ab	146.5 a	67.0 ab	99.9 a	137.5 ab	101.4 ab
覆膜(PSM)	102.6 a	166.7 a	220.3 a	163.2 a	77.2 a	115.6 a	155.8 a	116.2 a

和 7.7%。

2.3 对 0~300 cm 土层土壤水分累积总量的影响

对收获期土壤水分测定(表 3)发现,地表覆盖对 0~300 cm 土层土壤贮水总量的影响因施氮水平而异。在不施氮和施氮 120 kg·hm⁻²时,不同地表处理间土壤贮水总量无显著差异;施氮 240 kg·hm⁻²,覆膜土壤水分减少 26.6 mm,覆草减少 52.2 mm。可见,在高施氮量下,作物收获期地表覆盖显著减少了土壤水分,且地表覆草比覆膜消耗了更多土壤水分。

2.4 对土壤水分在剖面分布的影响

进一步对土壤剖面水分分布(图 1)分析发现,虽

表 3 地表覆盖对冬小麦收获后 0~300 cm 土层土壤贮水总量的影响(mm)

地表处理 Soil surface treatment	施氮量 N rates/kg·hm ⁻²			平均 Average
	0	120	240	
未覆(NM)	653.3 a	578.2 a	623.5 a	618.3 a
覆草(WSM)	660.2 a	581.3 a	571.2 b	604.3 a
覆膜(PSM)	645.4 a	564.3 a	596.9 ab	602.2 a

然不施氮和施氮 120 kg·hm⁻²,不同地表覆盖对 0~300 cm 土层贮水总量无显著影响,却能明显改变其在土

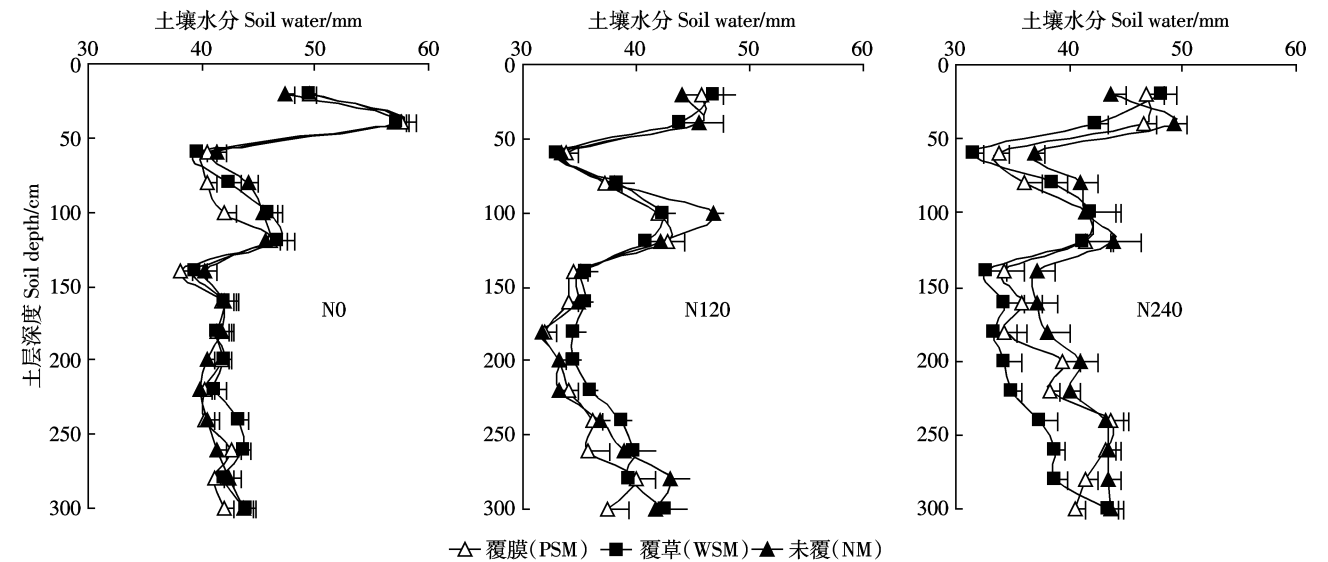


图 1 不同施氮水平下地表覆盖对土壤水分在剖面分布的影响

Figure 1 Effect of soil surface treatment on soil moisture distribution in profile with different N rates

壤剖面的分布。不施氮时,地表覆膜使 0~20 cm 的表层土壤水分增加 2.1 mm,却使 80~100 cm 土层水分减少 7.2 mm;覆草不仅使表层土壤水分增加 2.1 mm,还使 200~260 cm 土层的水分累计增加 7.6 mm。施氮 120 kg·hm⁻²,地表覆膜 0~20 cm 表层水分增加 1.7 mm,80~100 cm 土层,特别是 260~300 cm 深层土壤水分却累计减少 15.6 mm;覆草在降低 100~120 cm 土层水分的同时,使 0~20、180~240 cm 土层土壤水分分别增加 2.8 mm 和 8.7 mm。施氮 240 kg·hm⁻²,地表覆膜和覆草分别使表层土壤水分增加 3.3 mm 和 4.4 mm,但覆膜使 40~100、100~200 cm 和 200~300 cm 土层水分分别减少 10.8、11.8 mm 和 7.2 mm,覆草也分别减少 14.2、21.6 mm 和 20.9 mm。

可见,无论施氮与否,地表覆盖均可增加 0~20 cm 表层土壤水分,但下层土壤水分分布因地表覆盖和施氮量而异。在不施氮和施氮 120 kg·hm⁻²时,覆膜有降低深层土壤水分的趋势,而覆草则有增加的趋势;高量施用氮肥时,地表覆盖明显降低了表层以下各土层土壤水分,且总的来看覆草降低幅度高于覆膜。

2.5 对土壤硝态氮累积的影响

地表覆盖和施氮量对土壤硝态氮累积的影响结果见表 4。由表 4 可知,不施氮和高量施氮,地表处理对第 3 季冬小麦收获后土壤硝态氮累积影响显著。不施氮肥连续种植,覆膜有增加硝态氮累积的趋势,而覆草则明显降低;施氮 240 kg·hm⁻²,覆膜和覆草显著降低了硝态氮的累积,分别比常规降低 140.4 kg·hm⁻²和 120.4 kg·hm⁻²。施氮 120 kg·hm⁻²,尽管各地表处理

表 4 地表覆盖和施氮量对冬小麦收获后土壤 0~300 cm 硝态氮残留的影响(kg·hm⁻²)

Table 4 Effect of soil surface treatment on nitrate nitrogen accumulation in 0~300 cm layer after winter wheat harvest(kg·hm⁻²)

地表处理 Soil surface treatment	施氮量 N rates/kg·hm ⁻²			平均 Average
	0	120	240	
未覆(NM)	66.9 ab	178.4 a	731.1 a	325.5 a
覆草(WSM)	45.8 b	131.8 a	610.7 b	262.8 b
覆膜(PSM)	69.1 a	132.4 a	590.8 b	264.1 b

间土壤硝态氮累积量在统计学上差异不显著,但覆膜和覆草亦有降低的趋势。可见,在各施氮量下,地表覆草均能降低土壤硝态氮的累积;覆膜在施用氮肥的情况下也能降低;且高量施用氮肥,地表覆盖降低幅度大。

2.6 对硝态氮在土壤剖面分布的影响

对硝态氮在土壤剖面分布(图 2)的分析发现,地表覆盖对土壤硝态氮累积的影响因施氮量和土层而变化。不施氮肥时,各地表覆盖下各土层硝态氮累积量均很低,且不同地表覆盖处理间差异较小,但仍能看出覆膜有增加 0~40 cm 土层土壤硝态氮累积的趋势,而覆草则有降低的趋势。施氮 120 kg·hm⁻²,覆膜使 0~20 cm 土层硝态氮增加 5.0 kg·hm⁻²,却明显降低了 20 cm 以下土层土壤硝态氮的累积,20~100、100~200 cm 和 200~300 cm 分别降低 14.7、15.9 kg·hm⁻²和 20.4 kg·hm⁻²;而覆草不仅使 0~40 cm 土层硝态氮降低 7.8 kg·hm⁻²,还使 180~300 cm 降低 45.1 kg·hm⁻²。施氮 240 kg·hm⁻²,硝态氮在土壤剖面有明显累积,且各层

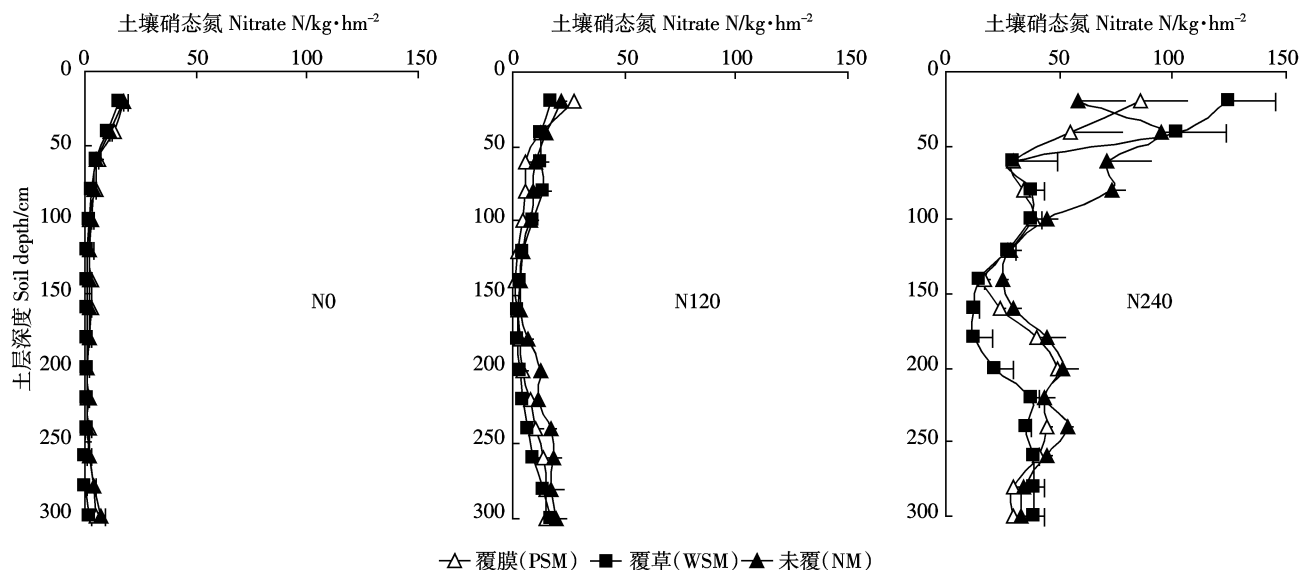


图 2 不同氮水平下地表覆盖对土壤硝态氮在剖面分布的影响

Figure 2 Effect of soil surface treatment on nitrate nitrogen distribution in profile with different N rates

累积幅度随地表覆盖的不同而异。与未覆盖相比,覆膜明显提高了表层(0~20 cm)土壤硝态氮的累积,累积量高达 $86.1 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,比未覆盖增加 58%,同时降低了 20 cm 以下各土层土壤硝态氮的累积,其中 20~100 cm 土层降低尤为显著,降低量高达 $126.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$;而覆草提高了 0~40 cm 土层土壤硝态氮的累积,其累积量高达 $226.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,比未覆增加 47%,同时也显著降低了 60~100 cm 和 140~240 cm 土层土壤硝态氮的累积。

由以上分析可知,覆膜无论施氮与否均能增加表层土壤硝态氮的累积,且其增加幅度随施氮量的增加而增大,而覆草仅在大量施用氮肥时显著增加;施用氮肥,地表覆盖降低了表层以下各土层土壤硝态氮的累积,且在大量施用氮肥的情况下,覆草降低幅度及土层深度均明显高于覆膜。

3 讨论

地表覆盖不仅能够有效降低土壤表面水分的无效蒸发,覆草还能增加对降水的拦储和促进水分向土壤下层入渗^[10];地表覆膜在提高膜下温度的同时,增大了土层之间的热梯度,从而使深层水分通过毛细管作用上升到表层,白天通过扩散而以水汽形式弥漫各处,夜间因温度降低使水汽凝结而落入表层^[7],提高了作物对土壤水分的利用效率^[20-21]。有研究认为^[22-23],在作物生育前期由于植株地上部覆盖度低,水分主要以无效蒸发而损失,故地表覆盖能够减少土壤水分消耗,提高土壤储水量;而随着作物不断生长,覆盖度提高,作物蒸腾耗水量增大,地表覆盖对土壤水分贡献不大。本文对收获期 0~300 cm 土层土壤水分在剖面分布的分析发现,收获期在 3 个氮水平下地表覆盖均能明显或显著增加表层土壤水分。我们对采集土样前

自然降水情况的分析发现,5 月 12 日到 5 月 15 日总计降雨 63.6 mm,6 月 4 日到 6 月 6 日总计降雨 25.8 mm(图 3)。可能由于在作物生长中后期,较强的降水为土壤补充了大量水分;另外张元培对春小麦的研究发现^[24],即使在降水较小的情况下,地表覆膜较露地栽培能储积更多雨水。同时我们还发现,地表覆盖对深层土壤水分的影响与作物生长密切相关。与无覆盖相比,覆膜栽培在提高地上部生物量的同时,降低了深层土壤水分含量;覆草也在大量施用氮肥的情况下,降低了深层土壤水分。这说明在干旱半干旱地区进行地表覆盖不仅能够储积更多水分,还能提高作物对水分的吸收利用。

地表覆膜能促进土壤有机氮素矿化^[25-26],减少硝态氮淋失,增加 0~100 cm 土层土壤硝态氮的累积^[27],且上层土壤增加尤为显著^[28]。李世清等^[29]发现土壤硝态氮累积受覆膜时间长短的影响,分析认为,在小麦生长后期继续覆膜,因提高土壤温度,促进了土壤氮素矿化,而此时作物需氮量减少,导致硝态氮在 0~100 cm 土层累积。本试验在田间定位实施的第 3 季,冬小麦收获后对 0~300 cm 土层土壤硝态氮在剖面分布的研究亦发现,无论施氮与否,地表覆膜均能促进表层土壤硝态氮的累积,且其增加幅度随施氮量的增加而增大。同时发现,施用氮肥并覆膜降低了表层以下土壤硝态氮的累积,这可能与增施氮肥后,覆膜效应更加突出,促进了小麦生长和对深层土壤水分和硝态氮的吸收利用有关。

而迄今对地表覆草情况下,土壤硝态氮累积的研究较少。王春阳等^[30]对玉米-小麦轮作体系研究发现,与常规相比,在第 5 季作物上,地表覆草能增加 0~80 cm 和降低 100 cm 以下土层土壤硝态氮的累积。李世清等在杨凌 25 a 长期定位试验中发现^[29],在施氮磷肥

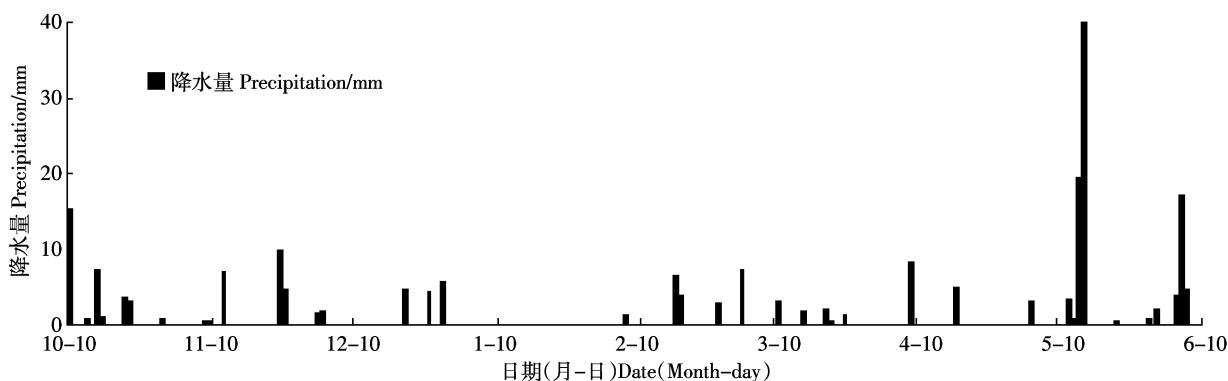


图3 冬小麦生长期降水情况

Figure 3 Dynamic of precipitation during the growth period of winter wheat

的基础上,配施玉米秸秆,一定程度上能够降低硝态氮的残留,并随秸秆用量增加,残留量下降。董放等对地表覆盖模式土壤氮素矿化的研究发现^[3],覆草对表层氮素矿化的影响随施氮量而异。本试验研究发现,在第3季冬小麦收获后,覆草在3个施氮水平下不仅降低了0~300 cm土层土壤硝态氮累积总量,还影响着硝态氮在土壤剖面的分布。在土壤氮素含量较低(不施氮肥和施氮120 kg·hm⁻²)的情况下,覆草不仅明显降低了耕层硝态氮,还降低下层硝态氮累积的趋势;而在高量施氮时,明显增加表层、降低表层以下各土层土壤硝态氮的累积。

因此,在高量施用氮肥的情况下,配合地表覆盖不仅可以提高作物产量和吸氮量,还显著减少硝态氮向下层淋溶,降低高量施氮造成的深层土壤硝态氮累积。

4 结论

无论地表覆盖能否促进小麦生长及其对氮素的吸收,在收获期均能提高表层土壤水分;覆膜栽培增加表层硝态氮含量,覆草也在高量施用氮肥时,增加表层硝态氮的累积。而地表覆盖对耕层以下土壤水分和硝态氮累积的影响与施氮量、作物生长及其对氮素吸收利用有关。覆膜在促进作物生长、提高氮素吸收的同时,降低了深层土壤水分及其硝态氮的累积,且随施氮量的增加降低幅度增大;覆草在不施氮肥和施氮120 kg·hm⁻²时未能促进小麦生长,但有增加深层土壤水分的趋势,而高量施用氮肥,明显提高了小麦地上部生物产量及其对氮素的吸收,降低了深层土壤水分;同时发现,无论施氮与否覆草均降低了下层土壤硝态氮的累积。

参考文献:

- [1] Li F M, Guo A H, Wei H. Effects of clear plastic film mulch on yield of spring wheat[J]. *Field Crops Res*, 1999, 63:79-86.
- [2] 李世清, 李凤民, 宋秋华, 等. 半干旱地区不同地膜覆盖时期对土壤氮素有效性的影响[J]. *生态学报*, 2001, 21(9):1519-1526.
LI Shi-qing, LI Feng-min, SONG Qiu-hua, et al. Effects of plastic film mulching periods on the soil nitrogen availability in semiarid areas[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(9):1519-1526.
- [3] Niu J Y, Gan Y T, Zhang J W, et al. Postanthesis dry matter accumulation and redistribution in spring wheat mulched with plastic film[J]. *Crop Sci*, 1998, 38:1562-1568.
- [4] 李立科, 王照华, 赵二龙, 等. 西北农业耕作技术的切入点, 留茬少耕或免耕秸秆全程覆盖技术[J]. *农机推广与安全*, 2002, 4:1-9.
LI Li-ke, WANG Zhao-hua, ZHAO Er-long, et al. Northwest study point for agricultural farming techniques, minimum tillage of no-tillage stubble straw mulching techniques[J]. *Popularization and Safety of Agricultural Machinery*, 2002, 4:1-9.
- [5] 高亚军, 李生秀. 旱地秸秆覆盖条件下作物减产的原因及作用机制分析[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(7):15-19.
GAO Ya-jun, LI Sheng-xiu. Cause and mechanism of crop yield reduction under straw mulch in dryland[J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(7):15-19.
- [6] 陈奇恩. 中国塑料薄膜覆盖农业[J]. *中国工程科学*, 2002, 4(4):12-17.
CHEN Qi-en. Mulching agriculture using thin plastic film in China[J]. *Engineering Science*, 2002, 4(4):12-17.
- [7] 王耀林. 新编地膜覆盖栽培技术大全[M]. 中国农用塑料应用技术学会主编. 北京:中国农业出版社, 1998:35-75.
WANG Yao-lin. A new cultivation techniques with plastic film mulching [M]. China agriplast using technical institute editor. Beijing: China Agriculture Press, 1998:35-75.
- [8] 李富宽, 姜慧新. 秸秆覆盖的作用与机理 [J]. *当代畜牧*, 2003, 6:38-40.
LI Fu-kuan, JIANG Hui-xin. The function and mechanism of straw soil surface mulching[J]. *Contemporary Animal Husbandry*, 2003, 6:38-40.
- [9] 许翠平, 刘洪禄, 车建明, 等. 秸秆覆盖对冬小麦耗水特征及水分生产率的影响[J]. *灌溉排水*, 2002, 21(3):24-27.
XU Cui-ping, LIU Hong-lu, CHE Jian-ming, et al. Effects of straw mulch on water consumption and water use efficiency in winter wheat[J]. *Irrigation and Drainage*, 2002, 21(3):24-27.
- [10] 张秋英, 李发东, 欧国强, 等. 土壤水对降水和地表覆盖的响应[J]. *北京林业大学学报*, 2005, 27(5):37-41.
ZHANG Qiu-ying, LI Fa-dong, OU Guo-qiang, et al. Response of soil moisture variation to precipitation and mulching measures[J]. *Journal of Beijing Forestry University*, 2005, 27(5):37-41.
- [11] 赵海祺, 梁哲军, 齐宏立, 等. 旱地小麦覆盖栽培高产机理研究[J]. *干旱地区农业研究*, 2002, 20(2):1-4.
ZHAO Hai-zhen, LIANG Zhe-jun, QI Hong-li, et al. Study on the high-yielding mechanism of film-mulching culture in wheat in dryland field[J]. *Agricultural Research In the Arid Areas*, 2002, 20(2):1-4.
- [12] 周劲松. 膜覆盖对土壤理化性状的影响[J]. *青海大学学报(自然科学版)*, 1996, 14(2):60-64.
ZHOU Jin-song. The effects of plastic cover used on the physicochemical properties of soil[J]. *Journal of Qinghai University*, 1996, 14(2):60-64.
- [13] 陈素英, 张喜英, 裴冬, 等. 玉米秸秆覆盖对麦田土壤温度和土壤蒸发的影响[J]. *农业工程学报*, 2005, 21(10):171-173.
CHEN Su-ying, ZHANG Xi-ying, PEI Dong, et al. Effects of corn straw mulching on soil temperature and soil evaporation of winter wheat field [J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(10):171-173.
- [14] 薛少平, 朱琳, 姚万生, 等. 麦草覆盖与地膜覆盖对旱地可持续利用的影响[J]. *农业工程学报*, 2002, 18(6):71-73.
XUE Shao-ping, ZHU Lin, YAO Wan-sheng, et al. Influence of straw and plastic-film mulching on sustainable production of farm land[J]. *Transactions of the CSAE*, 2002, 18(6):71-73.

- [15] 巩 杰, 黄高宝, 陈利顶, 等. 旱作麦田秸秆覆盖的生态综合效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3):69-73.
GONG Jie, HUANG Gao-bao, CHEN Li-ding, et al. Comprehensive ecological effect of straw mulch on spring wheat field in dryland area[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2003, 21(3):69-73.
- [16] Sharma S K. Influence of leaching with different amount of water on desalinization and permeability: Behavior of chloride and sulphate-dominated saline soils[J]. *Agricultural Water Management*, 1996, 31: 225-235.
- [17] 郭胜利. 黄土旱塬农田土壤有机碳氮的演变与模拟[D]. 杨凌: 中国科学院水土保持研究所, 2001:150-152.
GUO Sheng-li. Change and modeling of soil organic C and N in farmland of gully region of Loess Plateau[D]. Yanglin: Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Water Resources, 2001:150-152.
- [18] 刘光栋, 吴文良. 高产农田土壤硝态氮淋失与地下水污染动态研究[J]. 中国生态农业学报, 2003, 11(1):91-93.
LIU Guang-dong, WU Wen-liang. The dynamics of soil nitrate nitrogen leaching and contamination of the groundwater in high-yield farmland[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2003, 11(1):91-93.
- [19] 樊 军, 郝明德. 旱地农田土壤剖面硝态氮累积的原因初探 [J]. 农业环境科学学报, 2003, 22(3):263-266.
FAN Jun, HAO Ming-de. Nitrate accumulation in soil profile of dry-land farmland[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(3):263-266.
- [20] 方日尧, 赵惠青, 方 娟. 渭北旱原冬小麦不同覆盖栽培模式的节水效益研究[J]. 农业工程学报, 2006, 22(2):46-49.
FANG Ri-yao, ZHAO Hui-qing, FANG Juan. Water-saving benefits of different mulching cultivation mode for winter wheat in Weibei High land[J]. *Transactions of the CSAE*, 2006, 22(2):46-49.
- [21] 张源沛, 张益明, 周会成. 利用雨水对半干旱地区覆膜春小麦有限灌溉的研究[J]. 农业工程学报, 2002, 12(6):68-70.
ZHANG Yuan-pei, ZHANG Yi-ming, ZHOU Hui-cheng. Irrigation with rainfall harvesting for spring wheat with plastic-film mulching in semi-arid areas[J]. *Transactions of the CSAE*, 2002, 12(6):68-70.
- [22] 强 秦, 曹卫贤, 刘文国, 等. 旱地小麦不同栽培模式对土壤水分和水分生产效率的影响[J]. 西北植物学报, 2004, 24(6):1066-1071.
QIANG Qin, CAO Wei-xian, LIU Wen-guo, et al. Dynamics of soil moisture and water use efficiency under different wheat cultivation modules in dryland[J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2004, 24(6):1066-1071.
- [23] 刘文国, 张建昌, 曹卫贤, 等. 多种栽培模式下旱地小麦土壤水分的动态变化[J]. 西北农业学报, 2006, 15(4):112-116.
LIU Wen-guo, ZHANG Jian-chang, CAO Wei-xian, et al. The dynamic variation of soil moisture on the dryland wheat under various culture models[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2006, 15(4):112-116.
- [24] 张源沛, 张益民, 周会成. 半干旱地区春小麦不同种植方式土壤水分变化规律研究[J]. 水土保持学报, 2002, 16(5):115-116.
ZHANG Yuan-pei, ZHANG Yi-ming, ZHOU Hui-cheng. Research on soil water variation under different cultivation patterns for spring-wheat in semiarid regions of Ningxia[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2002, 16(5):115-116.
- [25] 汪景宽, 刘顺国, 李双昇. 长期地膜覆盖及不同施肥处理对棕壤无机氮和氮素矿化率的影响[J]. 水土保持学报, 2006, 20(4):107-110.
WANG Jing-kuan, LIU Shun-guo, LI Shuang-yi. Effect of long-term plastic film mulching and fertilization on inorganic N distribution and organic N mineralization in brown earth[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(4):107-110.
- [26] 汪景宽, 张继宏, 须湘成, 等. 长期地膜覆盖对土壤氮素状况的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 1996, 2(2):125-130.
WANG Jing-kuan, ZHANG Ji-hong, XU Xiang-cheng, et al. Effect of long-term covering with plastic film on characteristics of nitrogen in soil[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 1996, 2(2):125-130.
- [27] 刘顺国, 汪景宽. 长期地膜覆盖对棕壤剖面中 NH_4^+-N 和 NO_3^--N 动态变化的影响[J]. 土壤通报, 2006, 37(3):443-446.
LIU Shun-guo, WANG Jing-kuan. Effect of long-term covering with plastic film on NH_4^+-N and NO_3^--N in depth profile of brown earth[J]. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(3):443-446.
- [28] 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, 11(25):2901-2910.
GAO Ya-jun, LI Yun, LI Sheng-xiu, et al. Effects of different wheat cultivation methods on residual nitrate nitrogen in soil in dryland[J]. *Acta Ecol Sin*, 2005, 11(25):2901-2910.
- [29] 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):1-13.
LI Shi-qing, WANG Rui-jun, LI Zi-yan, et al. Soil nitrogen pool not to be ignored residual NO_3^--N Accumulated in soil profile in semiarid and semihumid agro-ecological system[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2004, 22(4):1-13.
- [30] 王春阳, 周建斌, 郑险峰, 等. 不同栽培模式对小麦-玉米轮作体系土壤硝态氮残留的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(6):991-997.
WANG Chun-yang, ZHOU Jian-bin, ZHEN Xian-feng, et al. Effects of different cultivation methods on soil residual nitrate under winter wheat-summer maize cropping system[J]. *Plant Nutrition and Fertilizer Science*, 2007, 13(6):991-997.
- [31] 董 放, 王 媛, 关维刚, 等. 旱地不同栽培模式和施氮对土壤水分、温度及氮素矿化的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2008, 36(12):108-114.
DONG Fang, WANG Yuan, GUAN Wei-gang, et al. Effects of different cultivation patterns and application of nitrogen fertilizer on moisture, temperature and nitrogen mineralization in soil of dryland[J]. *Journal of Northwest A & F University(Nat Sci Ed)*, 2008, 36(12):108-114.