

渭北旱塬区不同栽培模式对小麦产量与土壤水分及硝态氮累积的影响

陈辉林, 刘 廷, 田霄鸿, 赵爱青, 王朝辉

(西北农林科技大学资源环境学院, 陕西 杨凌 712100)

摘 要: 渭北旱塬小麦生产中需要克服的主要限制因子是水分不足, 寻求合理的栽培措施以提高天然降水的利用率对于产量提高具有重要意义。本试验通过 2 a 大田试验, 研究了不同栽培措施对冬小麦产量及 0~200 cm 土层水分与硝态氮累积的影响。结果表明: (1) 推荐施肥 + 垄上覆膜 + 沟内覆草 (NP + PF + S) 与推荐施肥 + 垄上覆膜 (NP + PF) 两种垄沟栽培模式, 虽然单位面积穗数明显降低, 但由于穗粒数、千粒重显著高于其它栽培模式, 因此产量和水分利用效率在所有模式中为最高。 (2) NP + PF + S 和 NP + PF 模式在小麦生育期内明显增加了土壤储水量, 尤其在冬小麦易遭水分胁迫的时期 (3~5 月), 其土层中储水量要明显高于其他模式。 (3) 土壤中硝态氮的累积主要集中在 60 cm 以上, 随着土壤深度的增加, 累积量逐渐减少。在第二季, 塬面冬小麦 NP + PF + S 处理的硝态氮累积显著高于其它处理。在梯田, NP + S 处理出现明显累积。由此可见, 推荐施肥 + 垄沟栽培模式虽然促进土壤中氮素的累积, 但是显著提高降水的有效贮蓄, 是渭北旱塬区雨养农业条件下维持冬小麦高产的合理栽培模式。

关键词: 渭北旱塬区; 冬小麦; 土壤水分; 硝态氮; 产量

中图分类号: S342.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2011)05-0019-07

渭北旱塬区是陕西省主要的粮果生产基地, 该地区冬小麦种植面积和产量仅次于玉米^[1]。但水分缺乏一直是该区小麦产量低而不稳的主要因素^[2], 且当地几乎没有任何灌溉设施, 天然降水年际分布也十分不均, 主要集中于夏季, 并以暴雨形式出现, 容易形成地表径流, 不利于水分的保存。因此, 如何发掘有限降水资源是该地区小麦产量高产稳产的关键性所在^[3]。而地膜覆盖和秸秆覆盖具有良好的改善土壤水分状况及增产效应, 因而被广泛应用^[4~6]。

土壤水分含量的高低还直接影响到土壤养分的有效性, 也对作物吸收土壤养分、转运、转化和同化有一定程度的影响^[7,8]。作物产量的主要限制因子是水分, 而水肥之间又有着明显的交互作用^[9,10]。由于渭北旱塬区为典型的雨养农业区, 在冬小麦需水的关键时期 (3~5 月份), 几乎没有任何天然降水, 因此冬小麦的养分吸收效率也相对会降低。而在当地农民习惯的栽培模式中, 由于大量氮肥的施入, 造成了土壤氮素大量盈余。一旦雨季到来, 多余的氮素就会向土壤更深层次淋溶, 造成氮肥的严重浪费。可见, 为了提高冬小麦对氮素的利用效率, 减少土壤硝态氮的残留, 主要应当从水分方面考虑。

同时, 如何将有限的天然降水有效蓄积, 同时减少地表径流和蒸发损失, 促进作物对养分的吸收, 是目前旱地农业的主要研究课题。因此, 只有确定合理的施肥量, 采取恰当的集水栽培模式, 才能将水肥的最大效果发挥出来, 最终提高肥料利用率, 减少氮素残留。本试验研究了七种不同的覆盖栽培施肥模式, 寻找适宜于渭北旱塬区既能增加冬小麦产量, 又能培肥地力, 减少肥料投入的栽培方法。

1 研究地区及研究方法

1.1 研究地区概况

试验区在陕西省长武县王东沟村中国科学院长武生态试验站试验区进行, 该试验区地势北高南低, 地貌分为北部塬面和南部沟壑区两大单元, 各占土地总面积的 35% 和 65%。试验区地下水埋深 60 m 以下。年平均气温 9.1℃, $\geq 10^\circ\text{C}$ 的积温 3 029℃, 无霜期 171 d, 降雨年际变化大, 多年平均降雨为 584 mm, 属于暖温带半湿润大陆性季风气候。试验地分为 3 块, 分别为塬面、梯田 1 和梯田 2, 土壤类型均为黄绵土, 质地均匀, 疏松多孔, 耕性良好。试验开始前耕层 0~20 cm 土壤基本养分状见表 1。

收稿日期: 2011-04-12

基金项目: 国家“十一五”科技支撑计划项目 (2006BAD25B09、2007BAD89B16)

作者简介: 陈辉林, 硕士。E-mail: chen1762003@yahoo.com.cn。

通讯作者: 田霄鸿, 博士, 教授, 主要从事旱地养分资源管理方面研究。E-mail: txhong@hotmail.com。

表 1 试验开始前 0~20 cm 土壤基本养分

Table 1 The basic soil characters in 0~20 cm soil layer before the start of experiment

试验地 Experiment site	有机质 Organic matter (mg/g)	全氮 Total N (g/kg)	硝态氮 NO ₃ ⁻ - N (mg/kg)	铵态氮 NH ₄ ⁺ - N (mg/kg)	速效磷 Available P (mg/kg)	全钾 Total K (g/kg)	速效钾 Available K (mg/kg)
塬面 Tableland	18.6	0.67	18.4	4.9	33.0	17.3	103.2
梯田 Terrace	13.4	0.47	12.6	5.6	28.0	16.4	95.9

1.2 研究方法

1.2.1 试验材料与设计 供试材料为当地常见旱作冬小麦品种“长旱 58”，行距 20 cm，播种量为 150 kg/hm²，条播。第一季冬小麦 2007 年 9 月 18 日播种，翌年 6 月 20 日收获；第二季小麦 2008 年 9 月 20 日播种，2009 年 6 月 21 日收获。试验设 7 个处理，依次为：不施肥(CK1)；农民习惯施肥(CK2)；推荐施肥(NP)；推荐施肥 + 有机肥(NPM)；推荐施肥 + 垄上覆膜(NP + PF)；推荐施肥 + 垄上覆膜 + 沟内覆草(NP + PF + S)；推荐施肥 + 麦秸覆盖(NP + S)。其中 CK2 即根据当地农民的习惯施肥量为 N 180 kg/hm²，P₂O₅ 120 kg/hm²；NP 为施 N 120 kg/hm²，P₂O₅ 90 kg/hm²。覆盖所用麦秸为上季收获的麦秸，覆盖前用铡刀切割成 10 cm 左右，用量为 4 500 kg/hm²，播种出苗后均匀覆盖于小麦行间，NPM 处理中的有机肥用量为 3 000 kg/hm²（第一季用优质猪粪，第二季用优质羊粪）。垄上覆膜措施中垄高 20 cm，垄宽和沟宽均为 60 cm，人工起垄。田间一半面积用于种植小麦，一半用于起垄覆膜。每个处理重复 7 次，其中塬面（海拔 1 230 m）重复 2 次，梯田 1（海拔 1 162 m）重复 3 次，梯田 2（经纬度及海拔与梯田 1 相同）重复 2 次，两块梯田相邻。小区面积为 50 m²，小区间隔为 30 cm，共 49 个小区。

1.2.2 测定指标及方法 水分测定：在田间埋设了 28 个中子管，分别布置在塬面（7 个，一个区组内），梯田 1（14 个，两个区组内）和梯田 2（7 个，一个区组内）。采用 CNC503B(DR)中子仪，在试验期间（2007 年 9 月至 2009 年 6 月）连续测定土壤体积含水量，每 15 d 测定一次。观测深度为 0~200 cm，共分为 13 个层次，依次为：0~10，10~20，20~30，30~40，40~50，50~60，60~80，80~100，100~120，120~140，140~160，160~180，180~200 cm。

养分测定：全氮采用半微量开氏法；硝、铵态氮采用 KCl 浸提提取，连续流动分析仪（FIASSTAR 5000）测定；全磷采用熔融-钼锑抗比色法，有效磷采用 NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法。

采用 Microsoft Excel 2003 软件处理数据及制图，用 DPS 统计软件进行相关的统计分析。

2 结果与分析

2.1 不同栽培模式对冬小麦产量及水分利用效率的影响

第一季冬小麦产量构成因子中（表 2），穗粒数及穗长均以两种垄沟栽培模式为最高，但籽粒的千粒重并不高甚至低于其它处理，并且处理间差异并不显著。NP + S 的产量低于 NP + PF 和 NP + PF + S，但未达到显著水平；第二季冬小麦（表 3 所示），无论是塬面还是梯田，两种垄沟栽培模式冬小麦产量显著高于 CK1 和 CK2。虽然单位面积穗数不高甚至显著低于其它处理，但是其它产量构成因子穗粒数、千粒重和穗长均以 NP + PF 和 NP + PF + S 最高。尤其是穗粒数，无论是塬面还是梯田两个覆膜处理均显著高于其它处理。可见，在本试验中，影响冬小麦产量高低的决定因素是穗粒数、千粒重及穗长，而并非单位面积穗数。因此，两季冬小麦产量均以垄沟栽培模式最高，表现出比覆草处理更好的增产效果。

表 2 不同栽培模式下 2007~2008 年度冬小麦产量及产量因子构成

Table 2 Effect of different cultivation modes on the yield composition of winter wheat during 2007~2008

处理 Treatment	产量 Yield (kg/hm ²)	穗粒数 Grains per spike (grain)	千粒重 1000-grain weight (g)	穗长 Spike length (cm)
CK1	2275b	23b	43.9a	6.7c
CK2	3294ab	36a	43.4a	7.7ab
NP	3280ab	32ab	41.9a	7.6ab
NPM	2797ab	34a	42.6a	7.1ab
NP + PF	3888ab	41a	42.0a	8.0a
NP + PF + S	4480a	40a	40.6a	7.8a
NP + S	3138ab	35a	43.2a	7.6ab

注：同一列数字后面不同字母表示不同栽培模式相互比较，差异达 0.05 显著水平，下同。

Note: Different letters following values within the same column mean significant difference at $P < 0.05$ level, and they are the same in the follows.

表 3 不同栽培模式下 2008 ~ 2009 年度塬面和梯田冬小麦产量构成
Table 3 Effect of different cultivation modes on the yield composition of
winter wheat at tableland and Terrace during 2008 ~ 2009

试验地 Experiment site	试验处理 Treatments	产量 Yield (kg/hm ²)	单位面积穗数 Spike number per 667m ² (穗/667m ²)	穗粒数 Grains per spike (grain)	千粒重 1000-grain weight (g/1000 粒)	穗长 Spike length (cm)
塬面 Tableland	CK1	3050d	174009c	30c	45.7c	6.7e
	CK2	5495bc	317683a	36bc	46.1bc	7.3cd
	NP	5527abc	293348ab	37bc	45.6c	7.2de
	NPM	5155c	290015ab	36bc	49.6ab	7.4cd
	NP + PF	6446ab	190621bc	48a	46.5abc	8.4a
	NP + PF + S	6547a	217511abc	49a	49.8a	8.0ab
	NP + S	6096abc	308349ab	40ab	47.7abc	7.7bc
梯田 Terrace	CK1	1116c	202144a	29c	45.6b	7.0a
	CK2	2024b	244279a	33bc	46.5b	7.2a
	NP	1694bc	207744a	33bc	46.2b	8.1a
	NPM	2005b	219344a	33bc	47.0b	7.3a
	NP + PF	3342a	102339b	46a	49.4a	8.0a
	NP + PF + S	3329a	116572b	44a	49.6a	7.9a
	NP + S	2765a	231878a	36b	45.4b	7.2a

表 4 和表 5 分别为第一季(2007 ~ 2008 年度)和第二季(2008 ~ 2009 年度)冬小麦水分利用效率,第一季冬小麦水分利用效率以 NP + PF + S 处理最高,达到 21.2 kg/(hm²·mm)。其次是 NP + PF 处理,但 NP + S 处理要比 CK2 和 NP 处理低,这也是导致第一季覆草处理冬小麦产量较低的主要原因;第二季冬小麦:三种覆盖栽培模式的水分利用效率(NP + PF、NP + PF + S 和 NP + S)显著高于 CK1,在梯田甚至达到极显著水平。这表明,在水分缺乏的条件下,覆盖模式能有效减少土壤水分的无效蒸发,显著提高冬小麦的水分利用效率,特别是垄沟栽培模式能非常好地起到保水和供水的作用,为提高冬小麦产量提供了有力保障。

表 4 2007 ~ 2008 年度冬小麦水分利用效率
Table 4 The winter wheat water use efficiency during 2007 ~ 2008

处理 Treatment	CK1	CK2	NP	NPM	NP + PF	NP + PF + S	NP + S
WUE[kg/(hm ² ·mm)]	11.3	13.9	14.5	11.6	15.4	21.2	13.4

注:WUE 为水分利用效率,为产量与该季小麦生长期内耗水量比值,下同。
Note: Water use efficiency is the ratio of wheat yield and water consumption, and it is the same in the follows.

表 5 2008 ~ 2009 年度冬小麦水分利用效率
Table 5 The winter wheat water use efficiency during 2008 to 2009

处理 Treatment		CK1	CK2	NP	NPM	NP + PF	NP + PF + S	NP + S
WUE	塬面 Tableland	10.1c	13.1b	14.5ab	13.1b	16.4a	15.7ab	14.5ab
[kg/(hm ² ·mm)]	梯田 Terrace	3.2c	5.2b	4.9bc	6.4ab	8.2a	7.9a	7.4a

2.2 不同土壤层次土壤水分的动态变化

图 1 表示了不同栽培模式对 0 ~ 100 cm 土层水分的影响,从图中可以看出,两季冬小麦生育期内,塬面和梯田以 NP + PF + S 或 NP + PF 处理储水量较高。在塬地, NP + S 处理土壤储水量最低,而梯田却以 NPM 最小。可见,垄沟栽培模式由于减少表层土壤与大气的水汽交换,抑制土壤水分无效蒸发,起到了保蓄土壤水分的作用。

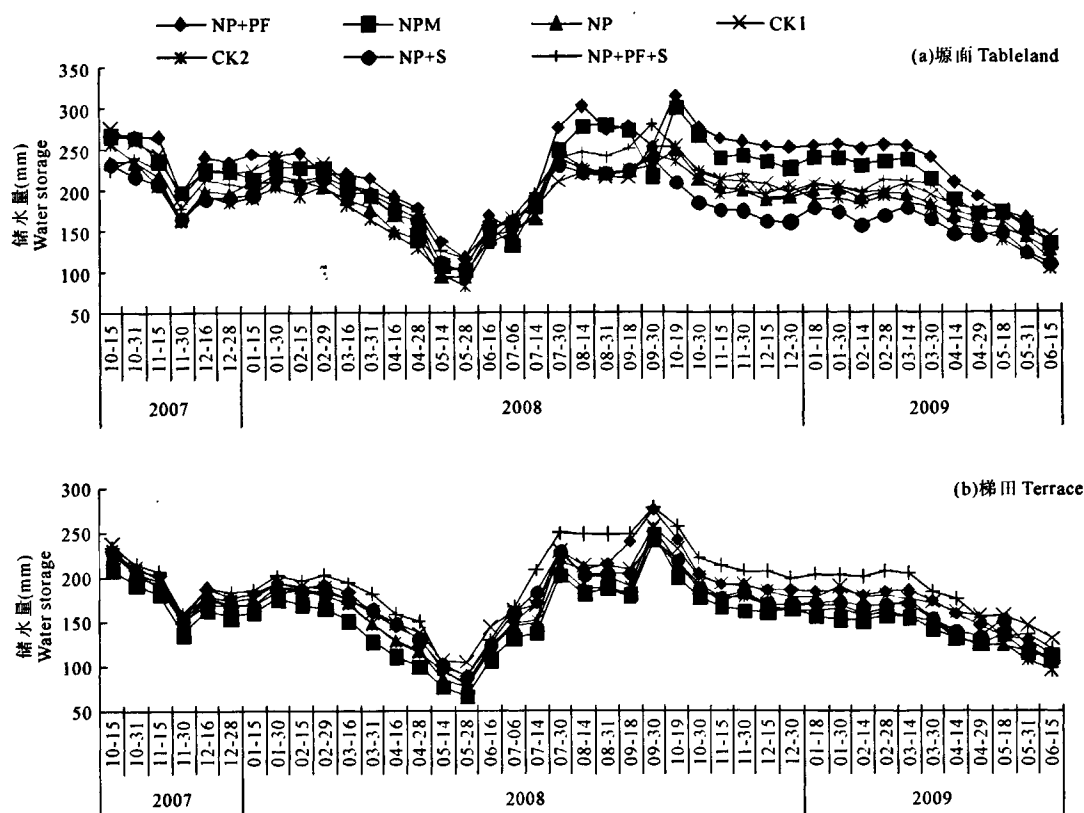


图 1 2007 ~ 2009 年度不同栽培模式塬面和梯田 0 ~ 100 cm 土壤储水量的变化

Fig.1 Effect of different cultivation models on the soil water storage in 0 ~ 20 cm from 2007 to 2009

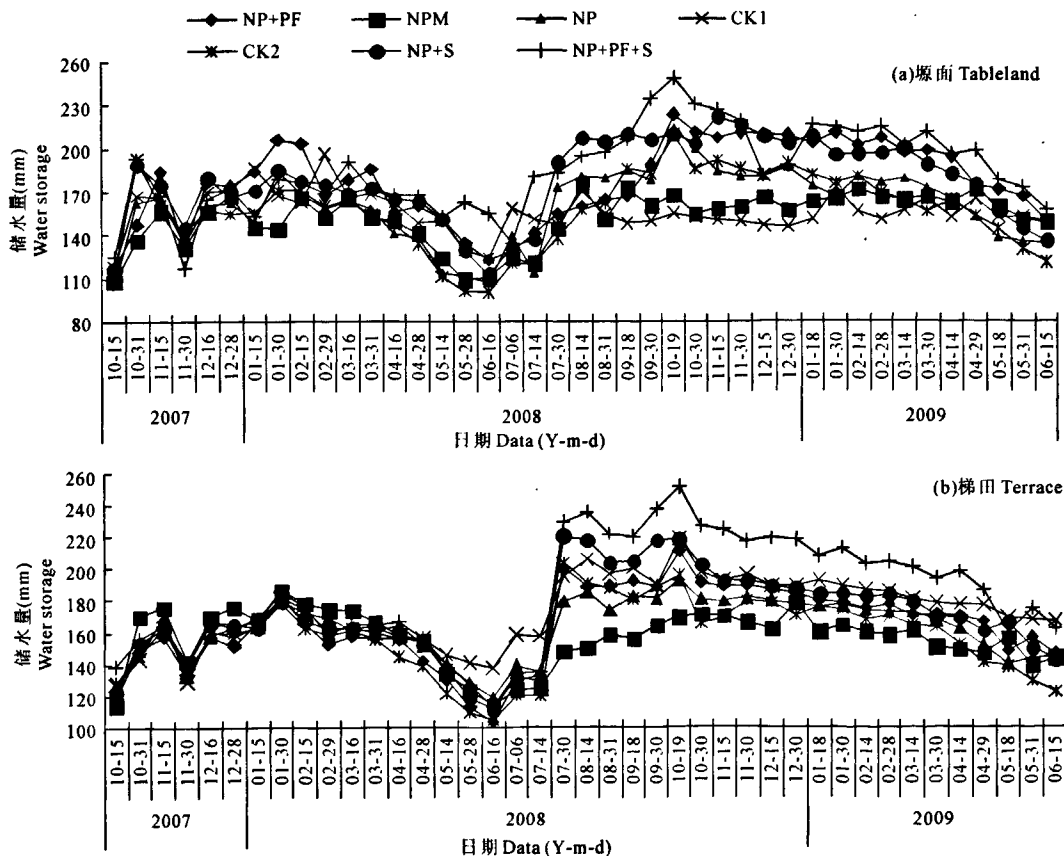


图 2 2007 ~ 2009 年度不同栽培模式塬面和梯田 100 ~ 200 cm 土层储水量

Fig.2 Effect of different cultivation modes on the soil water storage in 100 ~ 200 cm from 2007 ~ 2009

由图 2 可知,第一季冬小麦生育期,无论塬面还是梯田,各处理间的 100 ~ 200 cm 土壤含水量差异不显著。经过夏季休闲期内降水的补给,第二季冬小麦各处理间差异比较明显,但塬面和梯田仍以 NP + PF + S 的土壤含水量最高。这说明,垄沟栽培不

仅能够保持耕层土壤水分,供根系吸收,而且还可以有效地提高 1 m 以下的土壤储水量。因此,NP + PF + S 处理可以为冬小麦生长提供丰富水分条件,特别是可以满足关键生长期对水分的需求,保证了该地区冬小麦的生产。

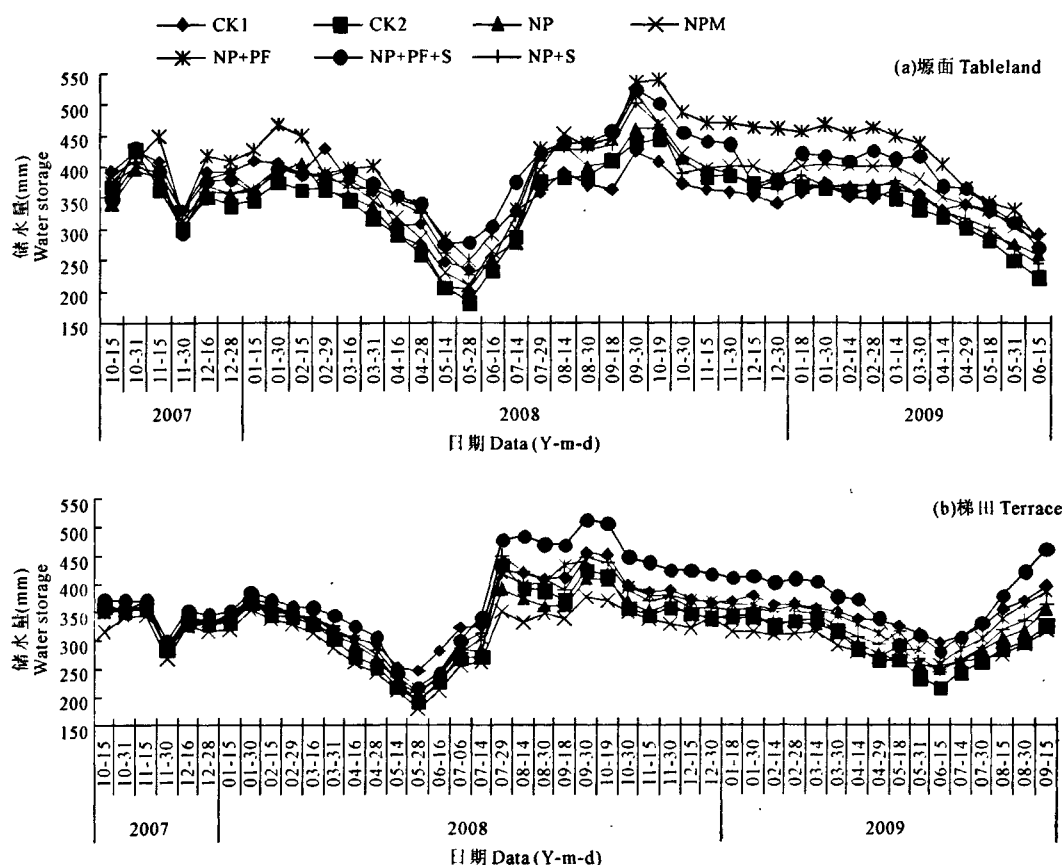


图 3 e、f 分别为 2007 ~ 2009 年度不同栽培模式塬面和梯田 0 ~ 200 cm 土层储水量

Fig.3 Effect of different cultivation modes on the soil water storage in 0 ~ 200 cm from 2007 ~ 2009, e: Tableland, f: Terrace

由 0 ~ 200 cm 土壤含水量图可知,NP + PF 和 NP + PF + S 与其它处理相比,显著提高了 2 m 的土壤储水量。尤其是在第二季的梯田,NP + PF + S 的储水效果更加显著,充分证明了垄沟栽培模式具有很强的集水、保水作用。

2.3 不同栽培模式土壤剖面(0 ~ 200 cm)硝态氮的变化

图 4 表示了 2007 ~ 2008 年度不同栽培模式对冬小麦收获后土层 0 ~ 200 cm 硝态氮累积的影响,冬小麦收获后不同栽培模式土壤剖面硝态氮累积存在一定的差异,硝态氮的累积主集中在土层 60 cm 以上。土层 0 ~ 100 cm 处土壤中硝态氮累积量以高施肥量的 CK2 处理最高,达 65.01 mg/kg。而两种垄沟栽培模式的累积量相对较少,并且随着土壤深度的增加各处理硝态氮累积量有所减少。

2008 ~ 2009 年度冬小麦收获后土层 0 ~ 2 m 硝态氮累积分布见图 5,从图中可以明显看出,各处理在耕层 20 cm 处硝态氮有明显的积累。不同栽培处理硝态氮残留只有在表层(60 cm 以上)有明显差异,塬面以 NP + PF + S 处理最高,且在 60 cm 处累积量达到最大,最低的为 CK1 处理;梯田 100 ~ 200 cm 硝态氮累积增加,以 CK2 和 NP + S 处理最为显著,其它处理无明显累积。这表明:过量施用氮肥会引起硝态氮在土壤表层(0 ~ 60 cm)的残留,随着时间的推移硝态氮在 1 m 以下的累积逐渐增加,这与高亚军等人的研究结果一致。过量施肥不仅浪费了肥料资源,而且提高了生产成本,不利于农民实现增产增收。而覆膜处理能有效地吸收土壤中的氮素,减少养分的向下流失,提高了肥料的利用效率,是比较理想的栽培模式。

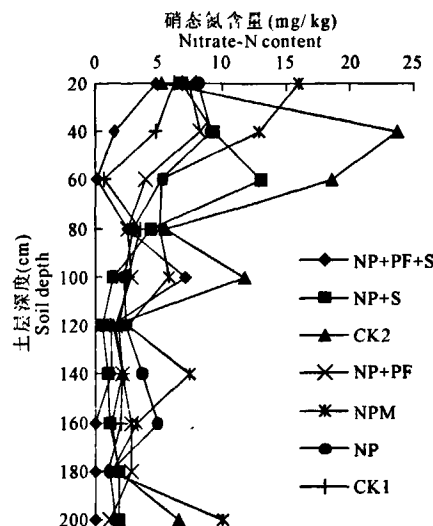


图 4 2007~2008 年度不同栽培模式对冬小麦收获后土层 0~2 m 硝态氮的影响

Fig. 4 Effect of different cultivation modes on $\text{NO}_3^- - \text{N}$ accumulation in soil depth from 0~2 m after winter wheat harvest during 2007~2008

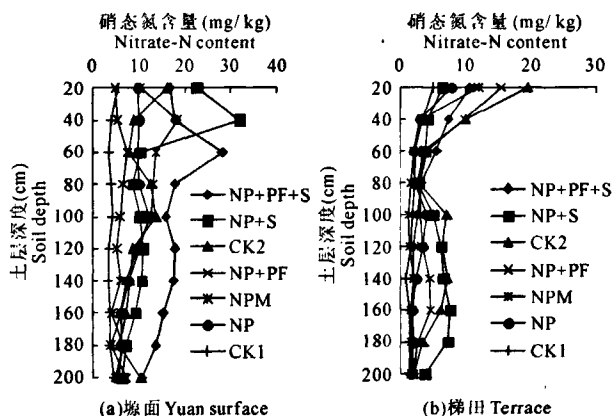


图 5 不同栽培模式对 2008~2009 年度冬小麦收获后土层 0~2 m 硝态氮的影响

Fig. 5 Effect of different cultivation modes on $\text{NO}_3^- - \text{N}$ accumulation in soil depth from 0~2 m during 2008~2009

3 讨论与结论

3.1 不同栽培模式对冬小麦产量的影响

渭北旱塬区是典型的雨养农业区,水分是限制冬小麦生长发育的主要因素。因此,如何充分利用有限的水资源是保障冬小麦正常生长发育的关键。张树兰、李凤民等人研究发现,秸秆覆盖和地膜覆盖都可提高了旱地农作物产量^[4,11~13]。我们 2 a 试验研究结果表明,仅有一半面积用于种植小麦的 NP+PF 和 NP+PF+S 模式虽然单位面积穗数不高甚至显著低于其它处理,但是其它产量构成因子穗粒数和穗长均为最高,尤其是穗粒数,无论是塬面还是梯

田两个覆膜处理均显著高于其它处理,千粒重对第二季冬小麦产量的影响比较显著,导致垄沟栽培模式相对其它模式能显著增加冬小麦产量。NP+S 处理效果没有 NP+PF 和 NP+PF+S 处理明显,且第一季冬小麦产量还较 CK2 处理低。由于秸秆覆盖的集雨、保水效果不如垄沟栽培模式显著,而且降低了地表温度,尤其是在冬小麦返青时温度回升相对地膜覆盖处理较滞后^[6,13,14],影响了冬小麦的生长发育,导致增产效果不如两个覆膜处理显著。

3.2 不同栽培模式对冬小麦土壤储水量及水分利用效率的影响

覆盖栽培模式,能够减弱空气与土壤之间的水汽交换,增加土壤水分存储量^[12,15,16]。在本试验中,垄沟栽培模式(NP+PF 和 NP+PF+S)增加了 0~200 cm 土层储水量,特别是 100 cm 以下,这种趋势在第二季冬小麦更为明显。而相对于垄沟栽培,覆草处理的储水效果较弱。同时,NP+PF 和 NP+PF+S 处理能将土壤水分保持至冬小麦需水关键期(3~5 月春旱时期),这与其它的研究基本一致^[11,16]。

秸秆覆盖和地膜覆盖都可显著提高作物水分利用效率^[12,13,17],我们的试验研究结果表明,与 CK1 和 CK2 相比,NP+PF、NP+PF+S 和 NP+S 处理能显著提高作物水分利用效率,但 NP+PF 和 NP+PF+S 处理要高于 NP+S,这是由于垄沟栽培模式要比覆草更有效地提高土壤储水量,减少土壤水分的无效蒸发。因此,与覆草模式相比,垄上覆膜是更加适合渭北旱塬区冬小麦生产的栽培模式。

3.3 不同栽培模式对土层 0~200 cm 硝态氮的影响

据刘金城、高亚军等人的研究,地膜覆盖可以改善土壤的水分和温度条件,促进土壤中微生物及相关酶的活性,导致土壤的矿化速率加强,微生物的固定减弱。并且,土壤中残留硝态氮随施氮量的增加而增加^[18]。经 2 a 田间试验表明,塬面和梯田由于不同的土壤条件,对硝态氮的累积也有所不同。在塬面,NP+PF+S 的累积量显著高于其它处理。而在梯田,CK2 和 NP+S 在 100~200 cm 硝态氮累积量较高。总之,覆盖模式(覆膜和覆草)能促进土壤中硝态氮的累积,这说明水分条件的改变必然会引起土壤呼吸增强,活性有机氮库(如土壤微生物体氮)的下降和矿质氮(在旱地土壤中主要是硝态氮)的大量累积。渭北旱塬区由于土壤疏松,降水主要集中在夏季的休闲期(7~9 月)。大量的降水会提高土壤储水量及水分的向下淋失,进而引起氮肥向土壤深层迁移。过量的施肥不仅会带来资源的浪费,降低肥料利用率,甚至会引起环境的污染。

参考文献:

- [1] 廖永成, 郑锦娟, 温晚霞, 等. 渭北旱塬区旱地小麦高产高效栽培模式探讨[J]. 麦类作物学报, 1999, 19(6): 61—62, 65.
- [2] Xie Zhong-kui, Wang Ya-jun, Li Feng-min. Effect of plastic mulching on soil water use and spring wheat yield in arid region of northwest China [J]. Agricultural Water Management, 2005, 75: 71—83.
- [3] Shulan Zhang, Lars Lovdahl, Harald Grip, et al. Effect of plastic mulching on soil water use and spring wheat yield in arid region of northwest China [J]. Agricultural Water Management, 2005, 75: 71—83.
- [4] 张树兰, Lars Lovdah, 同延安. 渭北旱塬不同田间管理措施下冬小麦及水分利用效率[J]. 农业工程学报, 2005, 20(4): 20—24.
- [5] 张正茂, 王虎全. 渭北旱塬地膜覆盖小麦最佳种植模式及微生境效应研究[J]. 干旱地区农业研究, 2003, 21(3): 55—60.
- [6] 党占平, 刘文国, 周济铭, 等. 渭北旱塬地冬小麦不同覆盖模式增温效应研究[J]. 西北农业学报, 2007, 16(2): 24—27.
- [7] 陈晓远, 罗远培. 开花期复水对受旱小麦的补偿效应研究[J]. 作物学报, 2001, 27(4): 512—516.
- [8] 李凤民, 郭安红, 雒梅. 土壤深层供水对冬小麦干物质生产的影响[J]. 应用生态学报, 1997, 8(6): 575—579.
- [9] 李法云, 郑良, 宋丽. 辽西半干旱水肥耦合作用对土壤水分动态变化的影响[J]. 辽宁大学学报(自然科学版), 2003, 30(1): 7—12.
- [10] 王殿武, 刘树庆, 文宏达, 等. 高寒半干旱区春小麦田施肥及水肥耦合效应的研究[J]. 中国农业科学, 1999, 32(5): 62—68.
- [11] 赵聚宝, 梅旭荣, 薛军红, 等. 秸秆覆盖对旱地农业作物水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 1996, 29(2): 59—66.
- [12] Yajun Wang, Zhongkui Xie, Sukhdev S. Malhi, et al. Effects of rainfall harvesting and mulching technologies on water use efficiency and crop yield in the semi-arid Loess Plateau, China [J]. Agricultural Water Management, 2009, 96: 374—382.
- [13] Li Feng Ming, Guo An Hong, Wei Hong. Effects of clear plastic film mulch on yield of spring wheat [J]. Field Crops Research, 1999, 63: 79—86.
- [14] 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.
- [15] Chen S Y, Zhang X Y, Pei D, et al. Effects of straw mulching on soil temperature, evaporation and yield of winter wheat: field experiment on the North China Plain [J]. Water Use Efficiency, 2007, 150: 261—268.
- [16] Tolk J A, Howell T A, Evett S R. Effect of mulch, irrigation, and soil type on water use and yield of maize [J]. Soil & Tillage Research, 1999, 50: 137—147.
- [17] Debashis Chakraborty, Shantha Nagarajan, Pramila Aggarwal V K, et al. Effect of mulching on soil and plant water status, and the growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.) in a semi-arid environment [J]. Agricultural Water Management, 2008, 95: 1323—1334.
- [18] 程杰, 高亚军, 强秦. 渭北旱塬小麦不同栽培模式对土壤硝态氮残留的影响[J]. 水土保持学报, 2008, 22(4): 104—110.

Effects of different cultivation modes on soil water, yield and $\text{NO}_3 - \text{N}$ accumulation in Weibei Loess Plateau

CHEN Hui-lin, LIU Ting, TIAN Xiao-hong, ZHAO Ai-qing, WANG Zhao-hui

(College of Resources and Environment, Key Lab for Agricultural Resources and

Environmental Remediation in Loess Plateau of Agriculture Ministry of China, Northwest A & F University, Yangling Shaanxi 712100, China)

Abstract: Water shortage was the key factor of restraining winter wheat yield in Weibei Loess Plateau, so it was meaningful to search reasonable cultivation models to improve water use efficiency and yield of winter wheat. A two-year field experiment was conducted to investigate the effect of different cultivation modes on soil water dynamic variation and $\text{NO}_3 - \text{N}$ accumulation in soil layer of 0 ~ 200 cm. The results showed that recommended fertilization + plastic mulch on soil ridges + straw mulch in furrow (NP + PF + S) treatment and recommended fertilization + plastic mulch on soil ridges (NP + PF) treatment significantly increased 0 ~ 2 m soil water storage during the growing season, especially in the second year. The water storage under 100 cm soil increased obviously in the two ridge cultivation modes, so enough soil water was provided for winter wheat growth during the dry spring season, especially in the critical water demand stage. The water use efficiency of the two ridge cultures were the highest among all the treatments. In the CK2 treatment, $\text{NO}_3 - \text{N}$ was significantly accumulated in soil layer of 0 ~ 200 cm. More fertilizer application involved more $\text{NO}_3 - \text{N}$ residue in the soil. In the second season of Yuan surface, the accumulation below 100 cm soil was bigger in the CK2 and NP + S treatments, and in the terrace, the biggest accumulation appeared in the NP + PF + S. Compared to the other treatments, spike per mu in NP + PF + S and NP + PF was lower, however, the other yield component factors were higher, especially the grain per spike and spike length. In conclusion, NP + PF + S and NP + PF was suitable to the agricultural development in the rainfed region of Weibei Loess Plateau.

Keywords: Weibei Loess Plateau; winter wheat; soil water; $\text{NO}_3 - \text{N}$ accumulation; wheat yield