

农作制度对黑河中游沙质土壤硝态氮积累及作物产量的影响

杨 荣, 苏永中

(中国科学院寒区旱区环境与工程研究所临泽内陆河流域研究站, 兰州 730000)

摘 要:为研究沙地农田不同土壤耕作、覆盖方式和轮作对作物产量、土壤硝态氮含量及积累的影响,在黑河中游边缘绿洲典型沙地进行农田定位试验。试验结果表明,在沙地农田生态系统,相对传统的三耕两耨的耕作方式,减少秋耕对玉米和大豆产量没有显著影响;相对于地膜覆盖处理,麦秆覆盖处理使玉米减产 11.3%~18.8%,使大豆产量增加 6%;不同处理 0~40 cm 土壤硝态氮积累量存在显著差异,作物收获后传统耕作处理土壤硝态氮的平均积累量比少耕处理低 8.5%~22.7%,覆膜处理比覆麦秆处理低 7.0%~8.8%,玉米连作处理比玉米-大豆轮作处理高 54.9%。分析结果表明,减少秋耕、麦秆代替地膜覆盖均有利于土壤硝态氮在作物根系集中层的积累,玉米大豆轮作对土壤硝态氮积累和淋失的影响仍需进一步研究;该试验研究的继续深入将对维持绿洲农田环境的健康和提高沙地农田生态系统生产力提供重要的理论依据。

关键词:少耕;秸秆覆盖;轮作;沙地;土壤硝态氮

中图分类号:S181 **文献标志码:**A **文章编号:**1672-2043(2011)01-0120-07

Effects of Farming Systems on Soil Nitrate Accumulation and Crop Yield in Sandy Soil Field in the Middle Reaches of Heihe River Basin, China

YANG Rong, SU Yong-zhong

(Linze Inland River Basin Comprehensive Research Station, Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Field experiment was conducted to determine the effects of minimum tillage, straw mulching and crop rotation on grain yield, nitrate accumulation in the profile of a sandy soil in the marginal oasis of Heihe River basin for two consecutive years (from 2007 to 2008). Results showed that the average grain yield of crops under conventional tillage treatment was not significantly decreased than those under minimum tillage treatment. The average maize yield for straw mulching treatment was 11.3%~18.8% lower than that for plastic film mulching treatment, while the average grain yield of soybean was 6% higher. There was a significant difference in nitrate accumulation in the 0~40 cm soil layer between different treatments. For instance, the average nitrate accumulation in 0~40 cm soil layer was 8.5%~22.7%, 7.0%~8.8% lower under conventional tillage and film mulching treatment compared that under minimum tillage and straw mulching treatment, respectively. Average nitrate accumulation in 0~40 cm soil layer was 54.9% higher under continuous maize cropping treatment compared with that under maize-soybean rotation cropping treatment. These data showed that minimum tillage and straw mulching had positive affect in increase nitrate accumulation in rhizosphere of soil. However, the effect of maize soybean rotation on nitrate leaching in sandy soil was very preliminary. Further investigations about effects of cropping systems on soil nitrate accumulation and crop yield was necessary, which could contribute to protecting soil and ground-water from potential nitrate pollution, and provide some theoretical bases for keeping high productivity of the oasis agro-ecosystem in this region.

Keywords: minimum tillage; straw mulching; crop rotation; sandy farmland; soil nitrate

收稿日期:2010-07-11

基金项目:国家自然科学基金(40801014,41071199);中国科学院寒区旱区环境与工程研究所青年人才成长基金(51Y084881)

作者简介:杨 荣(1979—),男,甘肃武威人,博士,助理研究员,主要从事农业生态学方面的研究。E-mail:yangrong@lzb.ac.cn

近年来,随着人们对农业环境和可持续发展问题的日益关注,农田氮素淋失成为了农业生态学领域的一个研究热点^[1]。农田生态系统中盈余的氮素主要以硝态氮的形式残留在土壤中,因此,土壤硝态氮积累特征研究是农田氮素淋失研究的一个重要方面^[2]。土壤剖面硝态氮的积累是多种因子共同作用下的收支余额^[3],水肥供应是其主要决定因素,但同时也受诸如土壤耕作^[4]、覆盖方式^[5]和轮连作^[6]等农作制度的影响。某一地区的农作制度包括农田作物组成及其生产过程中应用的耕作方法和轮作管理等措施^[7]。在我国北方灌溉农区,大部分农田采用的农作制度中较为普遍的管理措施包括三耕两耨、地膜覆盖和制种玉米连作,尽管国内外已开展过相关措施对土壤硝态氮积累特征的研究^[8],但研究结果常因研究区域和土壤条件的不同而存在较大差异^[9]。针对不同类型的土壤开展土壤硝态氮积累和运移规律研究,对提高氮肥利用效率、维持绿洲农田环境的健康稳定有重要的意义。沙质土壤以肥力低下持水肥能力较弱为主要特点,其高渗透性、低持水能力更容易导致土壤氮素随水移动而流失^[10],近年来针对该类型土壤开展了大量土壤硝态氮积累和淋溶方面的研究^[11],但缺乏农作制度对沙质土壤硝态氮积累影响的研究。因此,在黑河中游边缘绿洲和荒漠的交错带的典型沙质土壤区域,开展连续 2 a 的田间试验,研究不同农作制度对作物产量和土壤硝态氮积累的影响,以期为当地和同类型环境条件下农作物生产技术的改进和推广应用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概述

试验于 2007—2008 年在中国科学院寒区旱区环境与工程研究所临泽内陆河流域综合研究站(39°24' N,100°21'E)内实施,试验站位于甘肃河西走廊中段

临泽县北部,该区域为近几十年来由老绿洲向荒漠扩展的边缘绿洲区,绿洲外围为沙漠与戈壁,是典型的绿洲井渠混灌农业区,一年一熟,玉米种植面积较广。试验点海拔 1 350 m,属大陆性温带干旱气候,多年平均降水量 116.8 mm,约 60%的降雨集中在 7—9 月,降雨强度很弱,年均皿蒸发量 2 390 mm,干燥指数为 15.9,年均气温 7.6 ℃,无霜期 165 d,≥10 ℃的年积温为 3 088 ℃。地带性土壤为正常干旱土,土壤母质为冲积-洪积物;由于长期风沙侵袭,发育非地带性的新成土;1 m 内土质均为沙土,0.05~2 mm 砂粒含量在 84.5%~93.4%之间,平均容重 1.53 g·cm⁻³,田间持水量(θ_f)20.6%~22.5%;土壤养分含量差异较小,有机质平均含量 2.37g·kg⁻¹,全氮平均含量 1.19 g·kg⁻¹,全磷平均含量 0.28 g·kg⁻¹,全钾平均含量 16.70 g·kg⁻¹,碱解氮平均含量 20.96 mg·kg⁻¹,速效磷平均含量 2.99 mg·kg⁻¹,速效钾平均含量 88.2 mg·kg⁻¹,pH8.94。

1.2 试验设计

试验共设 8 个处理,采用土壤耕作、覆盖和轮连作方式 3 因素裂区设计(表 1)。试验设 3 次重复,共 24 个小区,小区面积 5 m×5.7 m=28.5 m²,小区间留 0.40 m 田埂。常规耕作处理按当地习惯进行冬前翻耕,少耕处理从 2006 年开始不进行冬前翻耕。秸秆覆盖处理使用小麦秸秆代替地膜(小麦秸秆用量为 3 500 kg·hm⁻²),于玉米出苗后将麦秸秆铡成 3~5 cm 长的碎段,一次性均匀覆盖在玉米行间,然后撒少许碎土覆于秸上,以免秸秆被风吹走,收获后翻耕入土壤。连作处理采用玉米连作种植;轮作处理 2007 年种植玉米,2008 年种植大豆。

种植玉米品种 2007 年为郑单 958,2008 年为豫玉 22 号,大豆品种为金豆 19 号。玉米种植行距为 40 cm,株距 25 cm,每穴单株;大豆种植行距 40 cm,株距 15 cm,每穴双株。玉米种植中施纯氮 300 kg·hm⁻²、

表 1 试验处理设计
Table 1 Treatments description

代码	处理	操作方法
CFM	常规耕作+覆膜+连作玉米	传统三耕两耨的耕作方式,生育期地膜覆盖,连年种植玉米
CCM	常规耕作+秸秆覆盖+连作玉米	传统三耕两耨的耕作方式,生育期麦秆覆盖,连年种植玉米
CFMS	常规耕作+覆膜+玉米大豆轮作	传统三耕两耨的耕作方式,生育期地膜覆盖,采用玉米-大豆的轮作序列
CCMS	常规耕作+秸秆覆盖+玉米大豆轮作	传统三耕两耨的耕作方式,生育期麦秆覆盖,采用玉米-大豆的轮作序列
MFM	少耕+覆膜+连作玉米	冬前少耕一次,生育期地膜覆盖,连年种植玉米
MCM	少耕+秸秆覆盖+连作玉米	冬前少耕一次,生育期麦秆覆盖,连年种植玉米
MFMS	少耕+覆膜+玉米大豆轮作	冬前少耕一次,生育期地膜覆盖,采用玉米-大豆的轮作序列
MCMS	少耕+秸秆覆盖+玉米大豆轮作	冬前少耕一次,生育期麦秆覆盖,采用玉米-大豆的轮作序列

P₂O₅ 150 kg·hm⁻²,大豆处理施纯氮 75 kg·hm⁻²、P₂O₅ 90 kg·hm⁻²,全部磷肥和 1/2 的氮肥基施,其余于作物生长期随灌溉水追施。灌水及杂草防除等其他农田管理措施均保持一致。

1.3 试验区概述

按小区收获测定作物产量,并在每个小区选取样本测定作物植株性状指标。玉米选择 10 株,测定项目包括株高、穗长、穗粗、茎粗和百粒重,大豆选择 20 株,测定项目包括株高、单株豆荚数、单荚粒数、茎粗和百粒重。

2007 年作物播种前、收获后和 2008 年作物收获后用土钻按 0~20、20~40、40~60、60~80、80~100、100~120、120~140 cm 取新鲜土样。在实验室内用 2 mol·L⁻¹ KCl 浸提,滤液在 220 nm 和 275 nm 下比色测定其硝态氮含量。土壤硝态氮积累量采用如下公式:

土壤 NO₃-N 积累量(kg·hm⁻²)=土层厚度(cm)×土壤容重(g·cm⁻³)×土壤硝态氮含量(mg·kg⁻¹)/10

采用 DPS 统计软件进行统计分析,方差分析和显著性检验采用 LSD 最小显著差数法进行。

2 结果与分析

2.1 不同处理对作物产量的影响

2007 年试验地均种植玉米,不同处理玉米产量(表 2)表现出传统耕作+地膜覆盖>少耕+地膜覆盖>传统耕作+麦秆覆盖>少耕+麦秆覆盖的递减顺序,传统耕作条件下地膜覆盖处理玉米产量最高,少耕条件麦秆覆盖处理玉米产量最低,不同处理间玉米产量差异均显著。少耕和麦秆覆盖均使玉米产量减少,少耕使玉米产量降低了 6.3%,但差异不显著(P>0.05),而麦秆覆盖使玉米产量降低了 11.3%,差异显著(P<0.05)。

表 2 不同处理下的作物产量(kg·hm⁻²)

Table 2 Crop yield under different treatments(kg·hm⁻²)

年份	作物	地膜覆盖		麦秆覆盖	
		传统耕作	少耕	传统耕作	少耕
2007	玉米	8 430a	7 915ab	7 492ab	7 002b
2008	玉米	14 177a	14 124a	11 662ab	11 321b
	大豆	2 335b	2 528ab	2 737a	2 849a
LSD(P=0.05)		F 值		F 值	
2007	玉米	覆盖	5.0*	耕作	1.07 ^{NS}
2008	玉米	覆盖	30.68**	耕作	0.09 ^{NS}
	大豆	覆盖	9.82*	耕作	0.91 ^{NS}

注:同行不同小写字母表示不同处理间差异显著(P<0.05);F 值上标表明各因素对作物产量的影响水平,其中* 显著水平(P<0.05),** 极显著水平(P<0.01),NS 无显著影响。

由于采用了不同的作物品种,2008 年玉米产量明显低于 2007 年,不同处理间产量结果依然是传统耕作+地膜覆盖>少耕+地膜覆盖>传统耕作+麦秆覆盖>少耕+麦秆覆盖的递减顺序。2008 年少耕处理和麦秆覆盖处理下玉米产量降低的幅度与 2007 年不同,少耕处理对玉米的减产幅度从 6.3%下降至 1.5%,而麦秆覆盖对玉米的减产幅度则从 11.3%上升至 18.8%。大豆产量表现出与玉米产量结果不同的规律,大豆产量最高的处理不是传统耕作+地膜覆盖处理,而是少耕+麦秆覆盖处理。减少秋耕处理大豆产量较传统耕作处理提高了 6%,但差异不显著(P>0.05);而对比地膜覆盖处理,麦秆覆盖处理大豆产量增加 14.8%,差异显著(P<0.05)。

2.2 不同处理对作物生长状况的影响

作物收获后各生长指标是作物营养生长和生殖生长协调的最终结果,是作物产量差异的反映。不同处理作物生长状况测定结果(表 3)表明,耕作对作物生长状况的影响较小,而覆盖对作物生长状况的影响较明显。2007 年数据显示,在相同覆盖条件下,相对于传统耕作处理,少耕处理玉米株高略高、百粒重减小,但差异均不显著;在传统耕作处理下,地膜覆盖处理玉米株高比麦秆覆盖高 8.6%,百粒重增加 10.3%,在少耕处理下,地膜覆盖处理玉米株高比麦秆覆盖高 8.8%,百粒重增加 5.8%。不同处理穗长和穗粗变化差异均未达显著水平,说明与覆麦秆处理相比,覆膜处理促进了植株营养生长并同时促进了光合产物由营养生长向生殖生长的转化,使得千粒重较高,籽粒饱满。2008 年增加茎粗的测定结果显示,传统耕作处理下玉米茎秆显著粗于少耕处理。对大豆生长状况的测定数据表明,与麦秆覆盖处理相比,地膜覆盖处理显著增加了大豆株高,但却使大豆单株荚数明显的降低,降低幅度为:传统耕作处理下 7.5%,少耕处理下 19%。地膜覆盖处理大豆千粒重高于麦秆处理,但各处理差异均不显著;在相同覆盖处理下,少耕处理单株荚数高于传统耕作处理,但差异不显著。

2.3 不同处理对土壤硝态氮含量分布的影响

受土壤剖面结构的影响,不同处理各土层中 0~20 cm 土层土壤硝态氮含量变化最为显著。2007 年土壤硝态氮数据显示(图 1),在 0~20 cm 土层,作物收获后少耕处理土壤硝态氮含量明显高于传统耕作处理,而在相同的耕作条件下,麦秆覆盖处理土壤硝态氮含量又高于地膜覆盖处理;各处理在该土层土壤硝态含量均表现出收获后高于播种前,表明各处理在该

表 3 不同处理作物生长指标

Table 3 Crop grown index under different treatments

年份	作物	耕作	覆盖	株高/cm	茎粗/cm	穗长/cm	穗粗/cm	百粒重/g
2007	玉米	传统耕作	地膜覆盖	275.8±6.5a	—	21.3±0.7a	4.8±0.5a	36.5±0.8a
		传统耕作	麦秆覆盖	253.9±12.4b	—	21.2±0.9a	4.8±0.5a	33.1±1.8b
		少耕	地膜覆盖	279.0±3.8a	—	21.2±0.7a	4.9±0.5a	34.9±1.7ab
		少耕	麦秆覆盖	256.4±6.2b	—	21.5±0.9a	4.7±0.5a	33.0±1.5b
2008	玉米	传统耕作	地膜覆盖	272.6±18.2a	2.64±0.06a	19.3±0.5a	5.7±0.1a	41.2±0.9a
		传统耕作	麦秆覆盖	266.6±22.9ab	2.64±0.10a	20.7±0.7a	5.7±0.1a	37.2±3.6b
		少耕	地膜覆盖	269.0±14.4ab	2.57±0.13ab	19.3±0.2a	5.7±0.1a	42.0±3.0a
		少耕	麦秆覆盖	255.9±14.7b	2.33±0.07b	19.1±1.2a	5.6±0.2a	37.0±1.4b
	大豆	传统耕作	地膜覆盖	126.13±1.1a	0.96±0.05a	34.8±4.5b	2.8±0.1a	18.8±0.5a
		传统耕作	麦秆覆盖	112.7±7.9ab	0.94±0.07a	37.4±6.9ab	2.8±0.1a	18.3±0.5a
		少耕	地膜覆盖	122.2±7.8ab	0.90±0.02a	34±1.7b	2.9±0.1a	19.5±1.1a
		少耕	麦秆覆盖	100.4±2.2b	1.19±0.38a	40.5±1.4a	2.9±0.1a	18.4±0.6a

注:同列不同小写字母表示不同处理间差异显著;“-”表示该季未监测该指标。

层次均有不同程度硝态氮积累。20~140 cm 土层含沙量均超过 90%,因此,土壤硝态氮含量均较低且分布均匀,各处理间除传统耕作+地膜覆盖处理 120~140 cm 土层明显较高外,其他处理间均没有明显差别;相比播前测定的土壤硝态氮含量结果,收获后该土层土壤硝态氮有降低趋势。

2008 年各处理土壤硝态氮含量依然是少耕处理明显高于传统耕作处理,在相同的耕作条件下,麦秆覆盖处理土壤硝态氮含量又高于地膜覆盖处理;受施肥状况的影响,轮作各处理土壤硝态氮含量均明显低于玉米连作处理。

2.4 不同处理对土壤硝态氮积累量的影响

各处理在土壤的不同层次表现出不同的土壤硝态氮积累规律(表 4)。2007 年数据显示,收获后各处理在 0~40 cm 土层土壤硝态氮的积累量与播种前相比基本呈增加趋势,表明硝态氮在该层次积累。耕作方式和覆盖方式对该层次土壤硝态氮积累量有明显影响,土壤硝态氮积累量少耕秸秆覆盖处理最高,传统耕作秸秆覆盖处理次之,少耕地膜覆盖处理再次之,传统耕作地膜覆盖处理最低,且最高值和最低值差异达显著水平;在该层次,传统耕作处理土壤硝态氮积累量比少耕处理低 8.5%,而覆膜处理土壤硝态氮积累

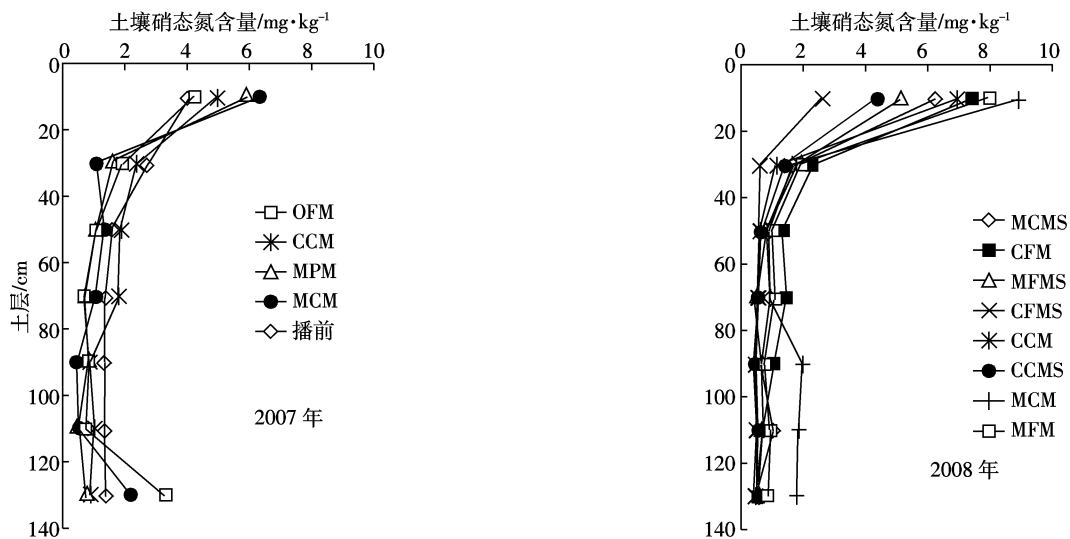


图 1 不同处理土壤硝态氮含量

Figure 1 Nitrate content under different treatments

表 4 土壤硝态氮积累量($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)
Table 4 Nitrate accumulation in soil profile under different treatments($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)

土层/cm	年份	处理代码							
		CFM	CFMS	CCM	CCMS	MFM	MFMS	MCM	MCMS
0~40	试验前	19.07	—	19.07	—	19.07	—	19.07	—
	2007	17.64b	—	21.10ab	—	21.05ab	—	21.30a	—
	2008	28.28a	9.45c	23.50ab	17.22b	27.99a	20.97ab	29.57a	22.95ab
40~80	试验前	7.79	—	7.79	—	7.79	—	7.79	—
	2007	5.25a	—	7.62a	—	5.08a	—	7.00a	—
	2008	6.60a	2.80a	2.61a	2.77a	4.97a	2.56a	4.73a	4.37a
80~140	试验前	11.72	—	11.72	—	11.72	—	11.72	—
	2007	10.90a	—	8.33ab	—	5.39b	—	9.34a	—
	2008	7.07a	4.65a	4.99a	6.25a	7.72a	5.94a	7.48a	8.23a

注:表中处理代码同表 1;同行不同小写字母表示不同处理间差异显著;“—”表示该季未监测该指标。

量比覆麦秆处理低 8.8%。收获后各处理在 40~80 cm 土层土壤硝态氮的积累量与播种前相比呈减少趋势,各处理之间在该层次土壤硝态氮积累量没有明显的差别。收获后 80~140 cm 土层土壤硝态氮积累量变化趋势与 40~80 cm 土层基本相似,也呈减少趋势。

2008 年数据显示,收获后玉米连作各处理 0~40 cm 土层土壤硝态氮的积累量与 2007 年同期相比均有不同程度的增加,而轮作处理则基本表现出积累量减少的规律;各处理土壤硝态氮积累量由高到低依次为 MCM>MFM>CFM>CCM>MFMS>MCMS>CFMS>CCMS,轮作、耕作方式和覆盖方式均对该层次土壤硝态氮积累量有明显影响;玉米连作处理在该层次的土壤硝态氮积累量比轮作处理高 54.9%,传统耕作处理在该层次的土壤硝态氮积累量比少耕处理低 22.7%,覆膜处理在该层次的土壤硝态氮积累量比覆秸秆处理低 7.0%。40~80 cm 土层土壤硝态氮积累量与 2007 年同期相比均有不同程度减小,而轮作处理基本表现出减小的幅度较连作处理大的变化规律,但各处理之间硝态氮积累量的差异不显著。80~140 cm 土层土壤硝态氮积累量也表现出与 2007 年同期相比降低的基本趋势,轮作和连作处理土壤硝态氮积累量变化幅度没有表现出显著规律,各处理之间也没有显著的差异。

3 讨论

少、免耕具有节约能耗、减少土壤侵蚀等优点,但对作物产量影响的研究结果有较大差异^[12]。本研究结果表明,相对传统三耕两耨的土壤耕作方式,减少秋耕处理下对玉米产量略有减低,而大豆产量略有提高,但均未达显著水平。江晓东等^[13]在棕壤土的研究

结果表明,与常规耕作相比,少耕处理特别是旋耕还田方式显著增加玉米产量,并分析得出少耕改善耕作层水分条件是导致玉米增产的主要原因。但在本试验蒸发和渗漏量较大的沙地农田条件下,少耕对耕作层水分条件的改善作用有限,因而没有表现出和棕壤土研究区相同的玉米增产结果,表明少(免)耕的效应在沙地上不显著。试验结果还显示,不同作物对麦秆覆盖有不同的产量表现,与地膜覆盖处理相比麦秆覆盖处理使玉米产量显著降低,但却使大豆产量有显著增加。马忠明等^[14]认为,早期秸秆覆盖降低土壤温度,影响玉米的出苗和生长,千粒重减少,是导致作物减产的主要原因。本试验为防止早期麦秆覆盖降低土壤温度影响玉米的出苗和生长,所以选择在作物苗期覆盖麦秆,造成了播种至苗期较长一段时期的地表裸露,土壤蒸发量大导致土壤含水量较低,影响玉米的前期生长,玉米生长指标的观测结果表明,在传统耕作处理下,地膜覆盖处理玉米株高比麦秆覆盖高 8.6%,百粒重增加 10.3%,在少耕处理下,地膜覆盖处理玉米株高比低麦秆覆盖高 8.8%,百粒重增加 5.8%。大豆是直根系作物,前期适度干旱更能够促进主根系向土壤深层扩展,而麦秆覆盖由于能够促进生育中、后期作物的生长发育^[15],因此表现出增产效果,同时,大豆产量增加可能与上茬玉米生长差,残留的养分多,利于大豆生长有关。另外,本试验考虑当地生产实际没有设置裸地对照,无法对比各覆盖处理相对于无覆盖的产量效应,但地膜覆盖于麦秆覆盖之间的产量对比对于当地生产实践仍具有重要的指导意义。

试验结果显示,少耕处理 0~20 cm 土层土壤硝态氮含量明显高于传统耕作处理,2007 年传统耕作处

理收获后 0~40 cm 土层土壤硝态氮的积累量平均值比少耕处理低 8.5%, 2008 年低 22.6%。进一步补充了耕作增加硝态氮淋失^[4], 少耕能够提高土壤耕作层硝态氮含量、减少硝态氮的淋失^[13]的试验依据。胡立峰等^[4]在中科院栾城生态试验站的研究结果表明, 免耕方式下土层无明显的硝态氮积累峰, 认为少免耕减少了翻耕对土壤表层的疏松, 降低了表层土壤的渗透性, 增加了其持水肥能力, 有利于积累作物根系集中层土壤硝态氮含量。试验结果还表明, 覆膜处理 0~40 cm 土层土壤硝态氮平均积累量比覆麦秆处理低 7.0%~8.8%。这一方面是由于秸秆覆盖可以增加速效氮等养分含量^[5], 在沙地农田地区, 光照充足、气温高, 其土壤 pH 偏碱性、适于硝化微生物的活动, 利于硝化过程进行^[6]; 另一方面, 秸秆覆盖能够改善物理特性, 增加土壤水稳性团粒含量和土壤微结构水稳性, 增强土壤保水保肥能力^[7], 在一定程度上也会影响表层土壤硝态氮积累。试验中玉米连作处理土壤硝态氮积累量比轮作处理高 54.9%, 这应该与施肥量有直接的关系, 不同作物的需肥规律不同而导致的施肥用量差异对硝态氮积累和淋溶有重要的影响作用。另外, 土壤硝态氮的积累与作物吸收利用有一定的关系, 因此, 进一步开展氮平衡的研究可以更加深入揭示农作制度对沙地农田硝态氮积累与淋失规律的影响。

4 结论

综上所述, 在黑河中游沙质土壤农田, 减少秋耕不会导致农作物减产; 相对于传统的地膜覆盖栽培, 麦秆覆盖导致玉米产量显著降低, 但大豆产量增加; 减少秋耕和麦秆覆盖处理均有利于土壤硝态氮在作物根系集中层的积累。玉米大豆的轮作模式下, 土壤表层硝态氮积累量少于玉米连作模式, 其对土壤氮素淋失、作物产量及对沙地土壤理化性质的影响仍需通过长期定位试验研究。该试验研究的继续深入将对维持绿洲农田环境的健康和提高沙地农田生态系统生产力提供重要的理论依据。

参考文献:

- [1] 朱兆良. 农田中氮肥的损失与对策[J]. 土壤与环境, 2000, 9(1): 1-6.
ZHU Zhao-liang. Loss of fertilizer N from plants-soil system and the strategies and techniques for its reduction[J]. *Soil and Environmental Sciences*, 2000, 9(1): 1-6.
- [2] JU Xiao-tang, LIU Xue-jun, ZHANG Fu-suo, et al. Nitrogen fertilization, soil nitrate accumulation, and policy recommendations in several agricultural regions of China[J]. *Ambio*, 2004, 33(6): 300-305.
- [3] 黄满湘, 章 申, 张国梁. 应用大型原状土柱渗漏计测定冬小麦-夏玉米轮作期硝态氮的淋失[J]. 环境科学学报, 2003, 23(1): 11-16.
HUANG Man-xiang, ZHANG Sheng, ZHANG Guo-liang. Soil core lysimeter study of nitrate leaching from a winter wheat-summer maize rotation[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2003, 23(1): 11-16.
- [4] 胡立峰, 胡春胜, 安忠民, 等. 不同土壤耕作法对作物产量及土壤硝态氮淋失的影响[J]. 水土保持学报, 2005, 19(6): 780-785.
HU Li-feng, HU Chun-sheng, AN Zhong-min, et al. Effects of different tillage patterns on crop yields and nitrate leaching in soil[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2005, 19(6): 780-785.
- [5] 卜玉山, 苗果园, 周乃健, 等. 地膜和秸秆覆盖土壤肥力效应分析与比较[J]. 中国农业科学, 2006, 39(5): 1069-1075.
BU Yu-shan, MIAO Guo-yuan, ZHOU Nai-jian, et al. Analysis and comparison of the effects of plastic film mulching and straw mulching on soil fertility[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(5): 1069-1075.
- [6] 张庆忠, 陈 欣, 沈善敏. 农田土壤硝酸盐积累与淋失研究进展[J]. 应用生态学报, 2002, 13(2): 33-238.
ZHANG Qing-zhong, CHEN Xin, SHEN Shan-min. Advances in studies on accumulation and leaching of nitrate in farming soil[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(2): 233-238.
- [7] 李雁鸣, 梁卫理, 崔彦宏, 等. 作物生态学 [M]. 北京: 中国农业出版社, 2002: 3.
LI Yan-ming, LIANG Wei-li, CUI Yan-hong, et al. Crop ecology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2002: 3.
- [8] 高亚军, 李 云, 李生秀. 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.
GAO Ya-jun, LI Yun, LI Sheng-xiu. Effects of different wheat cultivation methods on residual nitrate nitrogen in soil in dryland[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(11): 2901-2910.
- [9] 杨林章, 孙 波. 中国农田生态系统养分循环与平衡及其管理[M]. 北京: 科学出版社, 2008: 182-199.
YANG Lin-zhang, SUN Bo. Nutrient cycle, balance and its management in China field ecosystem[M]. Beijing: Science Press, 2008: 182-199.
- [10] 苏永中, 张智慧, 杨 荣. 黑河中游边缘绿洲沙地农田玉米水氮用量配合试验[J]. 作物学报, 2007, 33(12): 2007-2015.
SU Yong-zhong, ZHANG Zhi-hui, YANG Rong. Effects of nitrogen fertilization and irrigation rate on grain yield, nitrate accumulation and nitrogen balance on sandy farmland in the marginal oasis in the middle of Heihe River basin [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29 (3): 2007-2015.
- [11] 王 琦, 李锋瑞, 张智慧. 灌溉与施肥对黑河中游新垦沙地农田土壤硝态氮动态的影响[J]. 环境科学. 2008, 29(7): 301-307.
WANG Qi, LI Feng-rui, ZHANG Zhi-hui. Effects of different irrigation and nitrogen supply levels on nitrate-N dynamics in a recently reclaimed sandy farmland in Heihe River basin[J]. *Environmental Science*, 2008, 29(7): 301-307.
- [12] 谢瑞芝, 李少昆, 李小君, 等. 中国保护性耕作研究分析-保护性耕作与作物生产[J]. 中国农业科学, 2007, 40(9): 1914-1924.
XIE Rui-zhi, LI Shao-kun, LI Xiao-jun et al. The analysis of conservation tillage in China-conservation tillage and crop production: Reviewing the evidence[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007, 40(9): 1914-

- 1924.
- [13] 江晓东, 李增嘉, 侯连涛, 等. 少免耕对灌溉农田冬小麦-夏玉米作物水、肥利用的影响[J]. 农业工程学报, 2005, 21(7):20-24.
JIANG Xiao-dong, LI Zeng-jia, HOU Lian-tao, et al. Impacts of minimum tillage and no-tillage systems on soil NO_3^- -N content and water use efficiency of winter wheat/summer corn cultivation[J]. *Transactions of the CSAE*, 2005, 21(7):20-24.
- [14] 马忠明, 徐生明. 甘肃河西绿洲灌区玉米秸秆覆盖效应的研究[J]. 甘肃农业科技, 1998(3):14-16.
MA Zhong-ming, XU Sheng-ming. A study of maize straw mulching and its effect in irrigation region of Hexi oasis of Gansu Province[J]. *Gansu Agriculture Science and Technique*, 1998(3):14-16.
- [15] 卜玉山, 苗果园, 邵海林, 等. 对地膜和秸秆覆盖玉米生长发育与产量的分析[J]. 作物学报, 2006, 32(7): 1090-1093.
BU Yu-shan, MIAO Guo-yuan, SHAO Hai-lin, et al. Analysis of growth and development and yield of corn mulched with plastic film and straw[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 32(7), 1090-1093.
- [16] 叶优良, 包兴国, 宋建兰, 等. 长期施用不同肥料对小麦/玉米间作产量、氮吸收利用和土壤硝态氮积累的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(2):113-119.
YE You-liang, BAO Xing-guo, SONG Jian-lan, et al. Effect of long-term fertilizer application on yield, nitrogen uptake and soil NO_3^- -N accumulation in wheat/maize intercropping[J]. *Plant Nutrition and Fertilizing Science*, 2004, 10(2):113-119.
- [17] 吴 婕, 朱钟麟, 郑家国, 等. 秸秆覆盖还田对土壤理化性质及作物产量的影响[J]. 西南农业学报, 2006, 19(2):192-195.
WU Jie, ZHU Zhong-lin, ZHENG Jia-guo, et al. Influences of straw mulching treatment on soil physical and chemical properties and crop yields[J]. *Southwest China Journal of Agricultural Science*, 2006, 19(2):192-195.