

半干旱区施氮和灌溉条件下覆膜对春玉米产量及氮素平衡的影响

陈小莉¹, 李世清^{1,2*}, 王瑞军¹, 任小龙², 李生秀²

(1 中国科学院、水利部水土保持研究所,西北农林科技大学,黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西杨陵 712100; 2 西北农林科技大学资源环境学院,陕西杨陵 712100)

摘要: 以典型半干旱区干湿砂质新成土(Ust-Sandic Entisols)为供试土壤进行田间试验,研究地膜覆盖、施氮及补充灌水量对春玉米(*Zea mays* L.)产量、土壤矿质氮(NO_3^- -N和 NH_4^+ -N)及氮素平衡的影响。结果表明,0—100 cm土体范围内,随着土层加深,播前和收获后土壤 NO_3^- -N含量呈降低趋势, NH_4^+ -N有所增加,但变幅不大;总矿质氮量(NO_3^- -N和 NH_4^+ -N)表现为下降。说明地膜覆盖和施氮并没有使 NO_3^- -N深层累积量增加,这可能与土壤本身供氮能力严重不足有关。与不施氮相比,施氮各处理氮肥表观损失量增加;与不覆膜相比,作物氮素累积量比不覆膜显著增加($P < 0.05$)。在低灌(80 mm)覆膜和高灌(160 mm)覆膜条件下,玉米的氮肥利用率均比不覆膜提高了18.8%,说明覆膜低灌在相同施氮条件下,可节约80 mm灌水。但低灌(80 mm)与高灌(160 mm)不覆膜间氮肥利用率差异不显著,表明在相同施氮条件下,覆膜可有效提高氮肥利用率,减少氮素损失。综合考虑子粒产量和氮肥利用率,“覆膜+补灌80 mm+施氮90 kg/hm²”可能为本试验条件下较优的栽培模式。

关键词: 地膜覆盖; 春玉米; 氮肥利用率; 土壤矿质氮; 氮素平衡

中图分类号: S513.061; S513.071

文献标识码: A

文章编号: 1008-505X(2008)04-0652-07

Effect of film mulching on yield and nitrogen balance of spring maize under different nitrogen and irrigation treatments in semi-arid region

CHEN Xiao-li¹, LI Shi-qing^{1,2*}, WANG Rui-jun¹, REN Xiao-long², LI Sheng-xiu²

(1 State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, CAS and MWR, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2 Department of Natural Resources and the Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

Abstract: A field experiment was carried out on typical Ust-Sandic Entisols soil in semi-arid area to study the effect of film mulching, nitrogen (N) application and supplementary irrigation on spring maize (*Zea mays* L.) yield, soil mineral N (NO_3^- -N and NH_4^+ -N) and N balance. The result showed that in the 0 - 100 cm soil profile, with the depth of soil layers increasing, NO_3^- -N content before sowing and after harvest decreased, NH_4^+ -N increased slowly, and the total mineral N content declined (NO_3^- -N and NH_4^+ -N). It indicated that film mulching and N application did not increase NO_3^- -N accumulation in deep layer. This might be related to the soil's insufficient N supplying ability. The N apparent losses increased in all the treatments under N application compared to the zero N application treatment. The crop N accumulation significantly increased ($P < 0.05$) compared to the no film mulching treatment. In the 80 mm and 160 mm irrigation with film mulching treatments, the N fertilizer use efficiency of maize increased 18.8% compared with no film mulching. This indicated that under the same N levels, low irrigation (80 mm) with film mulching could save 80 mm water. However, the difference of N fertilizer use efficiency between 80 mm and 160 mm without film mulching was not significant. This

收稿日期: 2007-07-09

接受日期: 2007-12-12

基金项目: 国家自然科学基金(90502006); 中国科学院西部之光项目资助。

作者简介: 陈小莉(1978—),女,甘肃榆中人,博士研究生,主要从事植物营养生理生态的科研工作。E-mail: cxlxl@yahoo.com.cn

* 通讯作者 Tel: 029-87016171, E-mail: sqli@ms.iswc.ac.cn

indicated that film mulching increased N fertilizer use efficiency and decreased N losses under the same N application condition. In terms of grain yields and N fertilizer use efficiency, the recommended management practice would be "film mulching + supplementary irrigation at 80mm + N application at 90 kg/ha" based on results of this experiment.

Key words: film mulching; spring maize; nitrogen fertilizer use efficiency; soil mineral N; nitrogen balance

氮肥在我国农业生产中发挥了重要的作用,但氮肥的不合理施用也造成了利用率低,损失严重,污染环境等不良后果^[1-3]。其中反硝化作用是土壤氮素损失的主要机制之一,损失量从微量到 N 100 kg/hm²,对环境产生严重影响^[4,5]。北方大草原东南边缘的农牧交错带在我国生态安全方面具有重要战略地位,是我国生态建设的重点区域之一。然而,因该区粮食问题没有得到有效解决,开垦、滥垦等使该区生态系统受损,土地风蚀沙化和水土流失加剧,生产力下降;另一方面,这一地区土地辽阔,土层相对较厚,光照充分,生产潜力大,发展农牧草复合系统具有得天独厚的条件。因此,充分利用有灌溉条件的坝地、川地,提高粮食生产能力,对解决该地区粮食问题,实现退耕还草和改善生态环境具有重要意义。早春低温和干旱是限制该地区作物生产的重要因子之一,而精耕细作、增加地面覆盖、降低无效蒸发、合理施肥等措施是提高作物产量和农田降水利用效率的基本途径^[6]。自 1979 年由日本引进地膜覆盖栽培技术后,因产量高,地膜玉米在早春低温和干旱区广泛种植^[2],从而使生产潜力得到有效发挥。地膜覆盖能够改善耕层土壤水热状况^[7-8],活化土壤养分^[9],对提高水分和养分利用效率^[7,10],实现粮食增产具有重要作用。已有研究表明,地膜覆盖后由于土壤养分条件和作物生长状况的改善,有利于增加作物产量和对养分的吸收利用^[11-12],提高了养分利用效率^[13]。AlAssir 等^[11]研究发现,地膜覆盖虽然对莴笋产量没有显著影响,但覆盖地膜后,叶片中的 NO₃-N 和全 P 含量却显著增加。Sharma 和 Parmar^[13]对小麦的研究发现,在抽穗期和开花期分别覆膜,可使土壤磷的利用效率分别提高 27% 和 17%;王喜庆^[14]和 Matitschka 等^[15]的研究认为,覆膜后能使氮肥肥效明显提高。但也有研究表明,地膜覆盖后,肥料利用效率下降。AlAssi 等^[11]的研究表明,覆膜后土壤中有有机氮的矿化速率增加,土壤中 NO₃-N 含量显著增加,从而导致氮肥肥效不明显;Ruppel 等^[16]的研究表明,地膜覆盖农田不需要施用氮肥,就可满足作物对氮素的需要;还有研究认为,全生育期地膜覆盖,还可导致作物减产^[7]。显然,地膜覆盖对作物产量和养分效率影响的一些研究结果

是相互矛盾的。因此,该领域还需要进行深入细致的研究。本试验在黄土高原北部年均降水量 437.4mm 左右的农牧交错带,通过进行大田试验,研究地膜覆盖、不同施氮和不同补充灌水量对春玉米产量、氮肥利用率和氮素平衡的影响,以期为该地区科学施肥和确定高产、高效栽培模式提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 试区概况

试验区位于毛乌素沙地与黄土高原两大自然生态区之间的农牧交错带,地貌类型为片沙覆盖的黄土丘陵,气候属中温带半干旱气候。该地年蒸发量 785.4 mm,平均降雨量 437.4 mm,多集中在 6~9 月,平均干燥度 1.8,属典型的半干旱地区(平均干燥度 1.5~3.49),作物种植类型为一年一熟。年均温 8.4℃,1 月平均最低温 -9.7℃,7 月最高温 23.7℃;极端最高温 38.9℃,极端最低温 -28.1℃。光照充足,10 月积温 3232℃,无霜期 169 d。主要土壤类型为干湿沙质新成土,耕层(0~30 cm)土壤有机质 5~10 g/kg,土壤全氮 0.10~0.59 g/kg,速效氮 6.5~28.8 mg/kg,速效磷 0.5~4.8 mg/kg,速效钾 50~114 mg/kg,容重 1.25 g/cm³。

1.2 试验设计

田间试验于 2004 年 4 月至 9 月在中国科学院水利部水土保持研究所神木生态试验站进行。供试土壤为干湿沙质新成土,其基本理化性质见表 1。供试作物为春玉米(*Zea mays* L.)陕单 911。设地膜覆盖、施氮和灌水 3 个因子。地膜覆盖分设不覆膜和覆膜 2 种情况;氮肥分设不施氮和施氮 90 kg/hm² 2 个水平;灌溉设全生育期补充灌溉 80 mm 和 160 mm 2 个水平,组成完全试验方案,共 8 个处理组合(表 2),重复 3 次,随机区组排列。小区面积 3.7 m × 6.75 m。以过磷酸钙(P₂O₅ 含量为 12%)作底肥,施用量 750 kg/hm²;氮肥用含氮量 46% 的尿素,2 种肥料在播前均匀撒施,翻入 0~20 cm 土壤。因土坑干旱,播种各小区灌水 40 mm。4 月 22 日播种,5 月 15 日间苗,9 月 14 日收获。播种密度为 60000 株/hm²,行距 0.5 m,株距 0.33 m。两次灌水分别在

拔节期(6月25日)和灌浆初期(7月25日)进行,灌溉量分别为30 mm/50 mm(低量)和60 mm/100 mm(高量)。作物生育期降雨量主要集中在5月、7月和8月3个月份;地表(5 m土层)温度覆膜比不覆膜处理平均高出1~5。

表1 土壤基本理化性质

Table 1 Properties of tested soil in this experiment

土层 Soil layer (cm)	有机质 OM (g/kg)	全氮 Total N (g/kg)	NH ₄ ⁺ -N (mg/kg)	NO ₃ ⁻ -N (mg/kg)
0—20	5.2	0.43	3.97	10.01
20—40	4.6	0.41	7.27	4.88
40—60	3.1	0.26	6.91	3.54
60—80	2.5	0.23	7.14	2.29
80—100	2.3	0.20	7.13	1.79

表2 试验处理

Table 2 Experimental treatments

编号 Code	施氮量 N rate (kg/hm ²)	地膜覆盖 Plastic mulch	灌水量 Irrigation amount (mm)
	0	NM	80 (LIA)
	0	NM	160 (HIA)
	0	FM	80 (LIA)
	0	FM	160 (HIA)
	90	NM	80 (LIA)
	90	NM	160 (HIA)
	90	FM	80 (LIA)
	90	FM	160 (HIA)

NM—不覆膜 Non-mulching FM—覆膜 Film mulching; LIA—低灌水量 Low irrigation amount; HIA—高灌水量 High irrigation amount

1.3 测定项目与方法

播前(4月14日)和收获后(9月16日),分别在各小区按20 cm为一层,分5层取样测定0—100 cm土层养分状况。植物样与土样采集同时进行。9月14日收获时,每小区实收3行,折合收获面积为10.50 m²。收获后观测单位面积穗数、每穗粒数、穗长和穗粗,脱粒后,测定子粒产量和干粒重,同时测定生物学产量(包括根、茎、叶等),并测定不同部位氮含量。土壤矿质态氮用Bremner法浸提(1 mol/L的KCl浸提振荡0.5 h)后,流动分析仪测定硝态氮和铵态氮含量,并计算矿质态氮累积量;植物样品用H₂SO₄-H₂O₂消解后,自动定氮仪测定全氮含量,

并计算植株氮素积累量。每一处理各指标均为3次重复平均值。

氮表观矿化(kg/hm²) = 不施N区地上部吸N量 + 收获后土壤Nmin - 播前土壤Nmin

氮表观损失(kg/hm²) = 播前氮Nmin + 施氮量 + 表观矿化量 - 施N区地上部吸N量 - 收获后Nmin

氮肥表观损失率(%) = 氮表观损失量/施氮量 × 100%

氮收获指数 = 子粒氮积累量/植株总氮积累量

氮肥利用率(%) = (施氮肥区地上部分氮积累量 - 不施氮肥区地上部分氮积累量)/施氮量 × 100%

NO₃⁻-N累积量(kg/hm²) = 土层厚度(cm) × 土壤容重(g/cm³) × NO₃⁻-N浓度(mg/kg)/10(0—20 cm土层土壤容重按1.25 g/cm³计,20 cm以下土层按1.3 g/cm³计算。)

试验数据均采用Excel和统计分析软件DPS v3.11专业版处理,方差分析包括施氮、地膜覆盖和不同灌溉量处理主效应,以及它们之间的两因素和三因素交互作用。

2 结果与分析

2.1 对春玉米各器官收获产量的影响

施氮、覆膜及增加补灌量对春玉米收获期各器官干物质收获量的影响不同。表3看出,增加补灌量80 mm,子粒产量增加14.8%,覆膜增产31.6%,施氮增产40.1%,覆膜并增加补灌量增产43.3%,施氮并增加补灌量增产81.3%,施氮并覆膜增产81.5%,施氮、覆膜及增加补灌量增产109.1%。从覆膜、施肥、补灌三因素平均增产效果来看,与常规栽培相比,覆膜栽培平均多增产24.1%;施氮处理平均产量比不施氮平均增产45.4%;高量补灌(160 mm)处理子粒的平均产量比低量补灌处理(80 mm)的产量增加17.2%。

表3还看出,在施氮基础上覆膜补灌80 mm与不覆膜补灌160 mm子粒产量基本一致,分别为8781和8771 kg/hm²,说明通过覆膜可节约80 mm灌水;但在不施氮时,覆膜补灌80 mm子粒产量显著高于不覆膜补灌160 mm,这可能与覆膜增加了土壤供氮能力,从而导致增产有关。施氮、覆膜及增加补灌量对玉米不同器官影响不同,但总生物量增加,可使根系、茎部及叶片干重分别增加15.9%、65.3%、16.0%。

表 3 不同栽培方式下春玉米各器官收获产量(kg/hm²)

Table 3 The yield of different parts of spring corn as affected by different treatments

处理 Treat.	根 Root	茎 Stem	叶 Leaf	子粒 Grains
	873.08 c	2160.38 c	3321.55 ef	4839.78 d
	993.84 b	2635.98 b	3806.33 abc	5555.43 d
	775.84 d	1909.78 c	3489.78 de	6371.24 c
	837.47 cd	2698.88 b	3737.33 bc	6935.68 c
	1000.97 b	2570.70 b	3247.76 f	6782.29 c
	1092.92 a	3323.95 a	3985.10 a	8771.95 b
	906.89 c	3559.62 a	3608.51 cd	8781.62 b
	1012.38 b	3570.95 a	3854.46 ab	10118.67 a

注(Note): 同列数据后不同字母表示差异达 5% 显著水平,下同 Values followed by different letters in the same column mean significant at the 0.05 level. The same below.

可见,施氮明显增加了根系收获量,覆膜明显减少了根系、茎部及叶片收获量,增加补灌量各部分生物产量均增加。

2.2 对土壤硝态氮和铵态氮含量的影响

氮肥施入土壤后,除被作物吸收利用以及各种途径损失外,大部分以无机氮的形式残留于土壤剖面中,其中 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 又是无机氮的主要存在形态。本试验为了保证播前和收获后的 N_{min} 具有可比性,播前对每个小区分别进行采样测定,故各处理间存在差异。图 1 表明,在 0—100 cm 土体范围内,随着土层加深,土壤 NO₃⁻-N 含量在播前和收获后均呈降低趋势,施氮可显著增加 0—40 cm 剖面土壤 NO₃⁻-N 含量。由于作物吸收利用,与播种前相比,不施氮处理表层 NO₃⁻-N 含量明显降低;成熟期以覆膜低灌(80 mm)处理 NO₃⁻-N 含量最高。

相同土层范围(0—100 cm)内 NH₄⁺-N 含量的测定表明,播前和收获后各处理土壤 NH₄⁺-N 含量随土层的加深呈增加趋势,但差异不显著。收获时各处理 NH₄⁺-N 以常规栽培施氮和灌溉 80 mm 处理表层累积浓度最高,覆膜施氮和 80 mm 低灌处理次之,但总体上,各处理之间 NH₄⁺-N 含量差异不明显,且缺乏规律性(图 1)。试验中 NH₄⁺-N 累积是实际测定值,由于在剖面中不同层次测定结果比较稳定,因而累积量相对较高。而表层残留的 NO₃⁻-N 很容易淋溶到根层以下或通过硝化—反硝化作用损失掉,对环境产生一定的危害,不利于作物根系吸收。

2.3 对土壤—作物体系中氮平衡的影响

根据成熟期 0—100 cm 土层范围内测得的 NO₃⁻-N 和 NH₄⁺-N 含量计算获得土壤矿质氮累积量。由表 4 可知,收获时不同处理 0—100 cm 土层 NO₃⁻-N

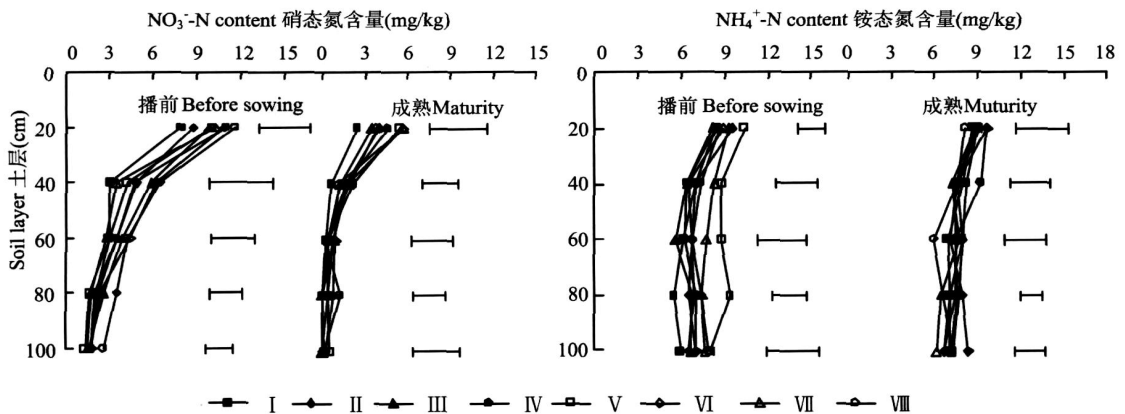


图 1 春玉米全生育期 0—100cm 土层硝态氮及铵态氮含量

Fig. 1 The content of NO₃⁻-N and NH₄⁺-N in 0-100 cm soil profile at different growth stages of maize

累积量显著低于播种前; $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 累积量有所增加, 但变幅不大, 各处理间显著不差异, 矿质态总量表现为减少。不同处理下, 特别是地膜覆盖和施氮并没

有使 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 累积量增加, 这可能与肥料氮转化为有机氮、微生物氮及矿物固定氮等有关。

表 4 播种前和收获后 1m 土层矿质态氮的变化 (kg/hm^2)
Table 4 The changes of Nmin in 1m soil profile before sowing and after harvesting

处理 Treat.	$\text{NO}_3^-\text{-N}$	$\text{NH}_4^+\text{-N}$	矿质氮量 Cont. of Nmin
播种前 Before sowing			
	47.1 \pm 8.4 a	91.9 \pm 17.7 a	139.0 \pm 22.1 b
	60.8 \pm 6.4 ab	110.7 \pm 22.0 a	171.5 \pm 25.1 ab
	59.3 \pm 19.9 ab	93.2 \pm 20.5 a	152.5 \pm 38.9 ab
	58.6 \pm 16.3 ab	118.6 \pm 17.2 a	177.1 \pm 28.4 ab
	59.5 \pm 17.0 ab	110.1 \pm 26.8 a	169.6 \pm 34.6 ab
	82.5 \pm 23.3 ab	106.8 \pm 16.9 a	189.3 \pm 27.8 ab
	58.0 \pm 23.9 a	115.9 \pm 20.0 a	173.9 \pm 19.0 ab
	85.1 \pm 9.4 a	114.3 \pm 28.3 a	199.4 \pm 37.6 a
收获后 After harvesting			
	16.1 \pm 3.9 c	96.1 \pm 10.9 a	112.2 \pm 12.9 c
	27.9 \pm 7.3 bc	123.6 \pm 3.9 a	151.6 \pm 5.8 ab
	21.4 \pm 0.1 bc	114.1 \pm 17.1 a	135.4 \pm 18.4 bc
	29.6 \pm 11.8 bc	120.0 \pm 9.3 a	149.6 \pm 2.9 ab
	34.7 \pm 11.9 b	118.8 \pm 4.1 a	153.5 \pm 9.5 ab
	49.0 \pm 12.3 a	114.9 \pm 15.16 a	163.9 \pm 8.6 a
	29.3 \pm 3.0 bc	115.5 \pm 4.3 a	144.8 \pm 3.5 c
	30.1 \pm 4.4 c	108.8 \pm 19.1 a	138.8 \pm 14.7 bc

注 (Note): 表中数值表示平均值 \pm 标准误 Values in table represent mean \pm SE

根据玉米吸氮量, 可计算出春玉米生长期氮素平衡, 在计算中将土壤无机氮 (Nmin) 的累积量定义在 0—100 cm 深度范围, 即玉米根系吸收养分的主要层次。其中氮输入包括氮肥、起始 Nmin 和作物生长前矿化氮三部分; 氮输出包括作物吸收、残留 Nmin 和氮肥表观损失量 (指播前氮 Nmin + 施氮量 + 表观矿化量 - 施 N 区地上部吸 N 量 - 收获后 Nmin) 三部分, 计算结果见表 5。由表 5 可知, 玉米全生育期土壤氮素矿化量加上播前无机氮的数量, 土壤自身供氮量最大可达 $282 \text{ kg}/\text{hm}^2$, 已高于玉米全生育期的总需氮量。特别是在覆膜条件下, 土壤氮素矿化量比不覆膜有一定增加; 从两种灌水平均看, 增加 $6 \text{ kg}/\text{hm}^2$, 低量灌水下显著增加, 但在高量灌水下基本没有增加, 这是否与高量灌水造成氮素在 1 m 以下土层迁移及播种前和收获后 1 m 土层中残留矿质氮 (Nmin) 累积量有关, 需进一步研究证明。从成熟期氮肥表观损失量看, 不覆膜和覆膜条件下

增加补灌, 氮肥损失量和损失率均明显增加。此外, 不管高灌溉量 (160 mm) 还是低灌溉量 (80 mm) 下, 与不覆膜相比, 覆膜均增加氮肥表观损失量, 产生这一现象的原因可能与覆膜增加土壤有机氮矿化, 即与供氮能力有关。在施氮条件下, 覆膜比不覆膜作物氮素累积量显著增加, 而残留的 Nmin 明显降低, 因此, 与不覆膜相比, 在低量灌溉 (80 mm) 覆膜和高量灌溉 (160 mm) 覆膜条件下, 氮肥利用率均提高 18.8%, 表明在相同的施氮条件下, 覆膜不仅有效提高氮肥利用率, 而且与 160 mm 灌水量相比, 低量灌水 (80 mm) 下覆膜能有效节约 80 mm 水。然而, 施氮和覆膜条件下增加补灌量能显著降低土壤残留 Nmin, 从 $145 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 减少到 $139 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。由于在剖面中不同层次测定结果比较稳定, 所以试验中 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 累积量相对较高, 这是实际测定值, 而大量的残留 Nmin 尤其是硝态氮极易通过淋洗等途径损失移出土壤—作物体系, 对环境造成危害。

表 5 玉米全生育期的 0—100 cm 氮素平衡(kg/hm²)

Table 5 Nitrogen balance across the whole growing season in 0-100 cm soil layers

项目 Items	处理 Treatments							
	0	0	0	0	90	90	90	90
A) 氮输入 Nitrogen input								
1) 施氮量 Nitrogen fertilizer rate	0	0	0	0	90	90	90	90
2) 播前 Nmin Nmin before sowing	139 b	171 ab	153 ab	177 ab	170 ab	189 ab	174 ab	199 a
3) 矿化 Net mineralization	54 c	87 a	70 b	83 a	54 c	87 a	70 b	83 a
B) 氮输出 Nitrogen output								
4) 作物携出 Crop removal	81 d	89 d	88 d	87 d	121 c	146 b	142 b	161 a
5) 残留 Nmin residual Nmin	112 c	152 ab	135 bc	150 ab	154 ab	164 a	145 bc	139 bc
6) 氮肥表观损失量 Apparent losses	0	17	0	23	39	56	47	72

3 讨论

许多研究指出,农田土壤长期大量施用氮肥会造成硝态氮在土壤中的累积,土体硝态氮含量随施氮量的增加显著增加^[17-18]。还有研究表明,由于灌溉的影响,即使在低氮肥水平,土壤深层仍可观察到硝态氮含量升高现象,存在淋出 200 cm 土体的可能性^[19]。本试验条件下,施用氮肥对春玉米子粒产量有显著的增产作用,而且在覆膜和补充灌溉条件下这种增产作用更加突出。在施氮基础上覆膜补灌 80 mm 与不覆膜补灌 160 mm 子粒产量基本一致,分别为 8781 kg/hm² 和 8771 kg/hm²,说明通过覆膜可节约 80 mm 灌水;但在不施氮时,覆膜补灌 80 mm 水子粒产量显著高于不覆膜补灌 160 mm,这可能与覆膜增加了土壤供氮能力有关(表 3)。施氮、覆膜及增加补灌量对玉米不同器官影响虽有不同,但总生物量增加。

据报道,玉米吸收利用土壤氮素的比例高于对肥料氮的吸收利用,且极易受夏涝的影响^[20]。因此,氮肥合理施用与否,除了考虑到氮肥的增产效应和利用率外,还应考虑土壤残留无机氮的高低。国外一些发达国家对土壤氮素残留量要求十分严格,一般要求 0—90 cm 土体残留 NO₃-N 低于 45 kg/hm² 或 Nmin 不高于 45 kg/hm²^[21]。本试验看出,收获时不同处理 0—100 cm 土层 NO₃-N 累积量显著低于播种前;NH₄⁺-N 累积量有所增加,但变幅不大,矿质态总量表现为减少。不同处理下,特别是地膜覆盖和施氮并没有使 NO₃-N 累积量增加,这可能与肥料氮转化为有机氮、微生物氮及矿物固定氮等有关(表 4)。

春玉米生长期氮素平衡计算结果表明(表 5),玉米全生育期土壤氮素的矿化量加上播前无机氮的

数量,土壤自身供氮量最大可达 282 kg/hm²,已高于玉米全生育期的总需氮量,说明在本试验条件下可适当减少施氮量,特别是在覆膜条件下,土壤氮素矿化量有一定增加;与不覆膜相比,土壤氮素矿化量在覆膜下(两种水分处理平均)增加 6 kg/hm²。试验结果显示,覆膜+低量灌溉能显著增加土壤氮素矿化量,而覆膜+高量灌溉对氮素矿化量不存在显著影响,这可能与高量灌水会造成氮素在 1 m 以下土层发生迁移,以及播前和收获后 1 m 土层中残留矿质氮(Nmin)累积量有关,这一结果有待进一步研究。从成熟期氮肥表观损失量看,不覆膜和覆膜条件下增加补灌,氮肥损失量和损失率均明显增加。此外,不管高灌溉量(160 mm)还是低灌溉量(80 mm)下,与不覆膜相比,覆膜均增加氮肥表观损失量,产生这一现象的原因可能与覆膜增加土壤有机氮矿化,即供氮能力有关。在施氮条件下,覆膜比不覆膜作物氮素累积量显著增加,低量灌溉(80 mm)和高量灌溉(160 mm)覆膜条件下,氮肥利用率均提高 18.8%,表明在相同的施氮条件下,覆膜不仅有效提高氮肥利用率,而且与 160 mm 灌水量相比,低量灌水(80 mm)下覆膜能有效节约 80 mm 水。然而,施氮和覆膜条件下增加补灌量能显著降低土壤残留 Nmin,从 145 kg/hm² 减少到 139 kg/hm²。由于在剖面中不同层次测定结果比较稳定,所以试验中 NH₄⁺-N 累积量相对较高,这是实际测定值,而大量的残留 Nmin 尤其是硝态氮极易通过淋洗等途径损失移出土壤-作物体系,对环境造成危害。从对子粒产量和氮肥利用率等综合考虑来看,本研究条件下“覆膜+补灌 80 mm+施氮 90 kg/hm²”可能是本试验的最优栽培模式,该模式下氮肥利用率达 60.0%,但由于只进行了一年的大田试验,所得结果有待进一步验证。

参考文献:

- [1] 杨新泉,冯锋,宋长青,等. 主要农田生态系统氮素行为与氮肥高效利用研究[J]. 植物营养与肥料学报,2003,9(3):373-376.
Yang X Q, Feng F, Song C Q *et al.* Fate and efficient use of nitrogen fertilizer in main agroecosystems [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2003, 9(3): 373-376.
- [2] 吕殿青,杨进荣,马林英. 灌溉对土壤硝态氮淋洗效应影响的研究[J]. 植物营养与肥料学报,1999,5(4):307-315.
L Ü D Q, Yang J R, Ma L Y. Study on effect of irrigation on soil nitrate leaching and uptake [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 1999, 5(4): 307-315.
- [3] 同延安,赵营,赵护兵,樊红柱. 施氮量对冬小麦氮素吸收、转运及产量的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2007,13(1):64-69.
Tong Y A, Zhao Y, Zhao H B, Fan H Z. Effect of N rates on N uptake, transformation and the yield of winter wheat [J]. *Plant Nutr. Fert. Sci.*, 2007, 13(1): 64-69.
- [4] Dana L D, Douglas L K, Dan B J *et al.* Nitrogen management strategies to reduce nitrate leaching in tile-drained Midwestern soils[J]. *Agron. J.*, 2002, 94:153-171.
- [5] Li Y E, Liu E D. Emissions of N₂O, NH₃ and NO_x from fuel combustion, industrial processes and the agricultural sectors in China [J]. *Nutr. Cyc. Agroecosyst.*, 2000, 57: 99-106.
- [6] 山仑,陈国良. 黄土高原旱地农业的理论与实践[M]. 北京: 科学出版社,1993. 1-5.
Shan L, Chen G L. The theory and practice of dryland farming on Loess Plateau [M]. Beijing: Science Press, 1993. 1-5.
- [7] 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.
- [8] Ravi V, Lourduraj A C. Comparative performance of plastic mulching on soil moisture content, soil temperature and yield of rainfed cotton [J]. *Madras Agric. J.*, 1996, 83: 709-711.
- [9] Quezada M, Maria R, Munguia L *et al.* Plastic mulching and availability of soil nutrients in cucumber crop [J]. *TERRA (Mexico)*, 1995, 13: 136-147.
- [10] Mohapatra B K, Lenka D, Naik D. Effects of plastic mulching on yield and water use efficiency in maize [J]. *Ann. Agric. Res.*, 1998, 19: 210-211.
- [11] AlAssir I A, Rubeiz I G, Khoury R Y. Response of fall greenhouse lettuce to clear mulch and nitrogen fertilizer [J]. *J. Plant Nutr.*, 1991, 14(10): 1017-1022.
- [12] Hasure R R, Umrani N K. Effects of irrigation water saving methods (mulches) on uptake of nutrients in summer sunflower [J]. *J. Maharashtra Agric. Univ.*, 1995, 20(3): 485.
- [13] Sharma P K, Pamar D K. The effect of phosphorus and mulching on the efficiency of phosphorus use and productivity of wheat grown on a mountain Alfisol in the Western Himalayas [J]. *Soil Use Manag.*, 1998, 14(1): 25-29.
- [14] 王喜庆,李生秀,高亚军. 地膜覆盖对旱地春玉米生理生态和产量的影响[J]. 作物学报,1998,24(3):348-353.
Wang X Q, Li S X, Gao Y J. Effect of plastic film mulching on eco-physiology and yield of the spring maize 's on the arid land [J]. *Acta Agron. Sin.*, 1998, 24(3): 348-353.
- [15] Matitschka G, Hahndel R, Wichmann W. Mineral N dynamic, N uptake and growth of lettuce as affected by mulch [J]. *Acta Hortic.*, 1996, 428: 85-94.
- [16] Ruppel S, Mak swiat E. Effects of black plastic mulch on nitrogen balance in cultivation of pickles (*Cucumis sativas* L.) [J]. *Gartenbauwissenschaft*, 1996, 61(5): 230-237.
- [17] Li X X, Hu Y S, Cheng Y S. Effects of different fertilizers on crop yields and nitrate accumulation[J]. *Agric. Res. Arid Areas*, 2003, 21(3): 38-42.
- [18] Liu X J, Ju X T, Zhang F S *et al.* Nitrogen dynamics and budgets in a winter wheat-maize cropping system in the north China plain[J]. *Field Crops Res.*, 2003, 83: 111-124.
- [19] 周顺利,张福锁,王兴仁. 土壤硝态氮时空变异与土壤氮素表观盈亏研究——冬小麦[J]. 生态学报,2001,21(11):1782-1789.
Zhou S L, Zhang F S, Wang X R. Studies on the spatio-temporal variations of soil NO₃-N and apparent budget of soil nitrogen. Winter wheat [J]. *Acta Ecol. Sin.*, 2001, 21(11): 1782-1789.
- [20] 郭李萍,王兴仁,张福锁,等. 不同年份施肥对作物增产效应及肥料利用率的影响[J]. 中国农业气象,1999,20(4):20-23.
Guo L P, Wang X R, Zhang F S *et al.* Effect of fertilizer application in different years on crop yields and fertilizer recovery [J]. *Agric. Meteorol.*, 1999, 20(4): 20-23.
- [21] Van der Ploeg R R, Ringe H, Machulla G *et al.* Postwar nitrogen use efficiency in West Germany agriculture and groundwater quality [J]. *J. Environ. Qual.*, 1997, 26(6): 1203-1212.