



doi: 10.11838/sfsc.1673-6257.22657

地膜覆盖与氮肥配施对玉米生长及氮素利用的影响

姬 丽¹, 马 琨², 李 虹³, 岳 翔³, 翟勇全¹,
运彬媛¹, 马健祯¹, 张 昊¹, 李稼润¹, 贾 彪^{1*}

(1. 宁夏大学农学院, 宁夏 银川 750021; 2. 宁夏大学生态环境学院,
宁夏 银川 750021; 3. 宁夏农业环境保护监测站, 宁夏 银川 750002)

摘 要: 覆膜栽培是旱区农业常用的种植技术。为探究滴灌水肥一体条件下, 覆盖生物降解膜后, 配施氮肥对玉米生长和氮素利用的影响, 从而减少农田残膜污染和过量施氮等问题。于 2020 和 2021 年在宁夏旱作节水灌溉区设置两类地膜 [Ⅱ类环境生物降解膜 (S) 和普通地膜 (P)] 和 4 个氮素水平裂区试验, 探究滴灌条件下降解膜覆盖配施氮肥对膜下滴灌玉米生长和氮素吸收利用的影响。结果表明: S 与 P 覆盖下对滴灌玉米出苗率和出苗期影响效应一致, 且在玉米苗期保温效果相当, 无显著性差异; S 覆盖下, 随着施氮量的增加, 滴灌玉米干物质累积量、氮素吸收利用、穗数、籽粒重和产量均表现为先增加后降低的趋势, 在施氮量为 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时最佳, 且与 P 覆盖下无显著性差异, 这表明生物降解地膜可替代普通地膜投入到农业生产中去; 建立膜下滴灌玉米施氮量与产量、吸氮量、氮素利用效率的多元回归曲线得到 S 和 P 膜覆盖下的最大产量 (13338 、 $13806 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$) 对应的施氮量均为 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, 两种地膜覆盖下的最大产量较施氮量 $360 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ (N3) 时分别提高 6.8% 和 6.1%, 氮肥农学效率和氮肥偏生产力分别提高 63.8%、45.2% 和 58.7%、59.8%。降解膜在促进作物出苗、前期增温、氮素吸收利用和产量等方面与普通地膜一致, 施氮量为 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时在促进作物干物质累积、氮素吸收利用和作物增产增效等方面达到最佳。因此, S 覆盖下配施氮肥 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 可作为西北灌区滴灌玉米适宜的种植措施。

关键词: 玉米; 生物降解膜; 施氮量; 氮素吸收利用; 产量

地膜覆盖是旱作农业区广泛采用的一种栽培技术, 具有增温、保墒和节水等作用, 同时可提高作物对氮肥的吸收利用, 增加地上部生物量和促进营养物质向籽粒转运, 有利于玉米产量的形成^[1]。但随着地膜的连年使用, 地膜残留物对土壤、作物和环境等造成了巨大影响^[2], 不仅阻碍了作物根系生长发育, 影响其对养分的吸收, 而且使农田“白色污染”问题日益加剧^[2-3], 因此, 解决残膜污染问题已经刻不容缓。生物降解膜是一种新型地膜材料, 既能明显改善土壤的通透性和提高水分利用效率^[4-5], 也可以达到显著的增温保墒效果, 并能够自然降解^[6-7], 对促进玉米生长和产量形成效果良好, 已经成为替代塑料地膜和解决农田白色污

染的重要材料^[8]。胡国辉等^[9]研究表明, 降解膜覆盖可以显著提高水稻氮肥利用率和产量。孙扬等^[10]认为, 降解膜覆盖下增施氮肥可有效改善玉米生长状况和生理状态, 有利于玉米对氮素的吸收利用, 从而提高氮肥利用率。但氮肥施用过量会造成氮肥利用率下降和氮损失, 无益于玉米增产增效^[11-12]。白雪等^[13]研究发现, 生物降解膜具有普通地膜增温保墒的作用, 且能够降低残膜污染^[14], 改善土壤环境, 是保障粮食安全与促进农业可持续发展的重要途径。前人针对降解膜覆盖下施氮对玉米生长发育和产量的影响进行了大量研究, 但在滴灌条件下生物降解膜覆盖配施不同氮肥水平对玉米生长特点和氮素利用效率方面的探究相对较少。因此, 本试验探究覆盖Ⅱ类环境生物降解膜与普通地膜分别配施 4 个氮肥水平对玉米生长状况和氮素吸收利用的影响, 对比Ⅱ类环境生物降解膜和普通地膜间的差异性, 从而探明适合玉米生长的适宜覆膜条件和施氮量, 以期为宁夏旱作节水区适宜降解膜覆盖条件下玉米高产提供参考。

收稿日期: 2022-10-25; 录用日期: 2022-11-28

基金项目: 宁夏重点研发计划项目“宁夏农田残膜污染监测评价及土壤修复技术研发”(2021BEG03014); 宁夏农业资源环境监测与保护项目“典型农田面源污染监测”(No.2130135)。

作者简介: 姬丽 (1999-), 硕士研究生, 研究方向为作物高产优质高效栽培。E-mail: jil19990216@163.com。

通讯作者: 贾彪, E-mail: jiabiao2008@163.com。



1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2020—2021 年在宁夏银川市平吉堡农场 (106°1'48" E, 38°25'77" N) 进行, 海拔高度为 1100 m。试验地土壤类型为淡灰钙土, 土壤质地为轻壤土, 基础土壤理化性质见表 1。

1.2 试验设计

供试地膜为普通地膜和 II 类环境生物降解膜。

普通地膜由宁夏中原塑业科技有限公司生产, 主要成分为聚乙烯 (PE), 宽 80 cm, 厚 0.008 mm, 地膜成本为 863.7 元·hm⁻², 自然条件下难降解, 玉米收获后需进行残膜回收处理。II 类环境生物降解膜由四川开元创亿生物科技有限责任公司生产, 主要成分为聚己二酸 / 对苯二甲酸丁二酯 (PBAT) 和可降解聚乳酸 (PLA), 宽 80 cm, 厚 0.012 mm, 地膜成本为 1342 元·hm⁻², II 类环境生物降解膜具有可降解性, 玉米收获后不进行残膜回收。

表 1 土壤理化性状

年份	pH	有机质 (g·kg ⁻¹)	全氮 (g·kg ⁻¹)	全磷 (g·kg ⁻¹)	碱解氮 (mg·kg ⁻¹)	有效磷 (mg·kg ⁻¹)	速效钾 (mg·kg ⁻¹)
2020	8.14	14.15	0.80	0.60	37.65	16.31	108.41
2021	7.81	15.06	0.77	0.56	37.24	16.83	99.84

供试品种为先玉 1225, 采用双因素裂区试验, 主区为地膜类型, 即为 II 类环境生物降解膜 (S) 和普通地膜 (P); 副区为 4 个施氮水平, 分别为 0、120、240 和 360 kg·hm⁻², 依次记为 N0、N1、N2 和 N3, 共 8 个处理, 3 次重复, 小区面积为 44 m², 种植密度为 9 万株·hm⁻²。2020 和 2021 年播种日期分别为 4 月 19 日和 5 月 6 日, 收获日期为 9 月 19 日和 9 月 23 日。

试验采用膜下滴灌技术, 氮肥为尿素 (N 46%), 磷肥为磷酸二铵 (N+P₂O₅ 64%), 钾肥为硫酸钾 (K₂O 52%), 均为水溶性肥料。玉米种植方式为宽窄行种植, 宽行 70 cm, 窄行 40 cm, 株距 20 cm, 区组间设 1 m 走道, 铺设支管道的走道 1.5 m, 每两行玉米铺设一根滴灌带, 滴灌带铺设在窄行内^[15], 各小区采用施肥罐独立滴灌施肥, 全生育期灌水总量为 290 mm, 灌水施肥情况见表 2。

表 2 玉米不同生育期灌水和施肥情况

水肥 情况	苗期 (V4)	拔节期 (V6)	抽雄期 (VT)	乳熟期 (R3)	成熟期 (R6)
灌水量 (mm)	20	60	100	90	20
灌水次数	1	3	2	3	1
施肥次数	1	3	1	3	0
施肥量 (%)	10	45	20	25	0

1.3 测定项目与方法

1.3.1 土壤温度

于玉米苗期使用曲管水银地温计测定, 选择土壤耕层深度 5、10、15、20 和 25 cm, 温度计置于玉米窄行中间, 分别记录 8: 00、10: 00、12: 00、14: 00、16: 00 和 18: 00 土壤温度, 取其平均值作为代表值。

1.3.2 出苗期与出苗率

每小区选定 3.3 m×5 m 的调查范围, 以玉米幼苗出土 2 cm 左右为标准, 记录出苗数, 并计算出苗率。

出苗率 = 出苗数 / 播种数 × 100%。出苗期为出苗率达到 50% 时的天数。

1.3.3 植株生物量

将玉米植株样品按器官剪开, 用水冲洗干净, 用滤纸吸干后, 立即称取鲜重; 将各器官样品置于烘箱, 在 105℃ 条件下杀青, 烘 30 min, 然后将温度降至 65℃ 下烘至恒重。

1.3.4 植株全氮含量

于玉米苗期、拔节期、大喇叭口期、吐丝期、乳熟期和成熟期 6 个生育时期, 选取具有代表性的植株, 对植株器官分离后在 105℃ 下杀青, 于 80℃ 下烘干称重, 得到植株干重。粉碎、研磨和过筛各干样, 用自封袋密闭低湿保存, 样品采用 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮和微量凯氏定氮法测定植株含氮量, 计算植株氮浓度。



1.3.5 籽粒产量

于玉米收获期,各小区随机选取 1 m×3 m 的样方,植株完整,分区计产。样方内所有玉米果穗带回实验室风干脱粒,测定秃尖长、行粒数、穗粗、穗长、百粒质量和总质量,折算成含水率为 14% 的籽粒产量。

1.3.6 其他指数计算

植株吸氮量 (kg·hm⁻²) = (植株含氮量 × 植株生物量) / 1000

氮肥农学效率 (kg·kg⁻¹, N) = (施氮处理产量 - 不施氮处理产量) / 施氮量

氮肥偏生产力 (kg·kg⁻¹, N) = 产量 / 施氮量

氮收获指数 (%) = 成熟期籽粒氮素累积量 / 成熟期植株氮素累积总量 × 100

1.4 数据处理与分析

试验数据采用 SPSS 23.0 进行相关性分析,运用 Origin 2019 进行数据做图。

2 结果与分析

2.1 地膜覆盖与氮肥配施对玉米出苗的影响

由表 3 可知,覆膜类型和施氮量对玉米出苗期和出苗率的影响均无显著差异,且两者并无显著交互效应。2020 年 S 膜和 P 膜覆盖下出苗天数均为 8 d; 2021 年 S 膜和 P 膜覆盖下出苗天数均为 7 d。两年间两类地膜覆盖下玉米出苗时间一致,平均出苗率 S 膜覆盖仅比 P 膜降低了 3.75%, 两者差异不显著,说明两种地膜对玉米出苗的影响相近。

表 3 覆膜与施氮处理下玉米出苗期和出苗率

年份	处理	播种期 (月 - 日)		出苗期 (月 - 日)		出苗率 (%)	
		S	P	S	P	S	P
2020	N0	04-28	04-28	05-06	05-06	86.89a	87.46a
	N1	04-28	04-28	05-06	05-06	86.37a	88.35a
	N2	04-28	04-28	05-06	05-06	88.56a	87.05a
	N3	04-28	04-28	05-06	05-06	87.24a	88.36a
2021	N0	05-06	05-06	05-13	05-13	88.30a	88.45a
	N1	05-06	05-06	05-13	05-13	88.45a	89.36a
	N2	05-06	05-06	05-13	05-13	89.23a	89.97a
	N3	05-06	05-06	05-13	05-13	88.67a	88.46a
方差分析							
覆膜类型 (M)				ns		ns	
施氮量 (N)				ns		ns	
M × N				ns		ns	

注: 不同小写字母表示处理间差异显著 ($P<0.05$)。* 和 ** 分别表示差异显著 ($P<0.05$) 和极显著 ($P<0.01$); ns 表示差异不显著 ($P>0.05$)。下同。

2.2 地膜覆盖与氮肥配施对玉米苗期土壤温度的影响

由图 1 可知,两年间各施氮水平下土壤耕层内温度变化不明显。随着土壤耕层的加深,土壤温度逐渐降低,2020 和 2021 年变幅分别为 23.7 ~ 30.2 和 20.1 ~ 29.0℃。P 膜覆盖下各处理土壤耕层温度略高于 S 膜覆盖,两年间 P 膜覆盖下较 S 膜分别提高 3.5% 和 2.3%, 且处理间差异不显著,说明 S 膜与 P 膜的增温、保温效果基本一致。

2.3 地膜覆盖与氮肥配施对玉米干物质累积的影响

由图 2 可知,两年间玉米各生育时期干物质累

积量均呈逐渐增加的趋势,且 V4 时期最低,R6 时期达最大,2020 和 2021 年变幅分别为 0.31 ~ 34.17 和 0.30 ~ 34.31 t·hm⁻²。同一生育时期内,随施氮量的增加,玉米干物质累积量先增后减,依次为 N2>N3>N1>N0。地膜覆盖可促进玉米生长、增加干物质积累。在玉米成熟期,两年间 S 膜配施 N2 的干物质累积量分别为 31.71 和 31.63 t·hm⁻², P 膜配施 N2 的干物质累积量分别为 34.17 和 34.31 t·hm⁻², S 膜与 P 膜的覆盖效果无显著性差异。以上说明,降解膜覆盖在促进玉米干物质累积和生长发育方面效果与普通地膜一致。

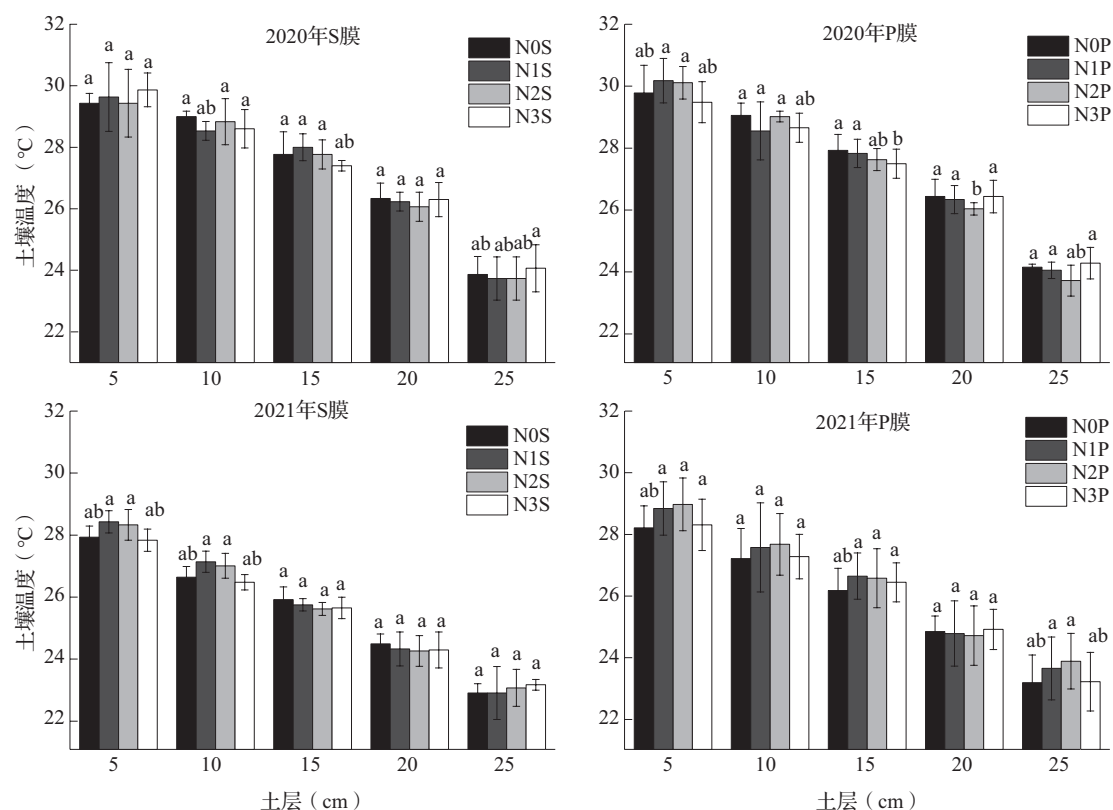


图1 覆膜与施氮处理对玉米苗期土壤温度的影响

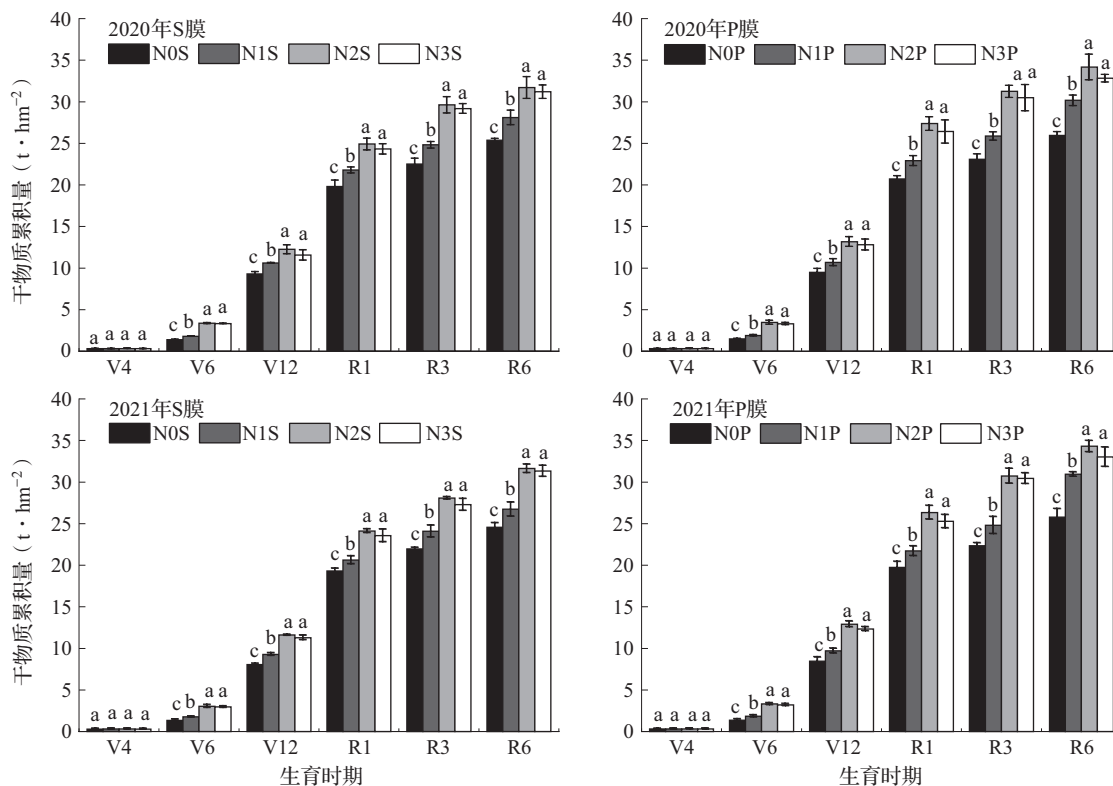
注：小写字母不同表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。下同。

图2 覆膜与施氮处理对玉米干物质累积的影响

注：V4 为苗期；V6 为拔节期；V12 为大喇叭口期；R1 为吐丝期；R3 为乳熟期；R6 为成熟期。



2.4 地膜覆盖与氮肥配施对玉米氮素吸收利用的影响

由表 4 可知，覆膜施氮能显著影响玉米吸氮量和氮素利用效率，且二者无显著交互效应。同一覆膜下，两年间氮肥农学效率和氮肥偏生产力均随氮肥水平提高而下降，说明施氮显著降低了氮肥农学效率和氮肥偏生产力；各 N 素水平下，S 膜下的氮肥农学效率与氮肥偏生产力略低于 P 膜覆盖，二者差异不显著。覆膜增施氮肥条件下，两年间玉米吸

氮量和氮收获指数呈先增后降的趋势，且 N2 处理最大，过量施氮（N3）并未提高氮收获指数。两类地膜对玉米氮素吸氮量的影响显著，对氮收获指数则无显著影响，2020 年各氮素处理下覆 S 膜吸氮量和氮收获指数较 P 膜分别降低 7.41%、4.81%、3.20%、3.20% 和 0.75%、1.33%、2.25%、2.43%；2021 年 S 膜的氮素吸氮量和氮收获指数较 P 膜分别降低 3.04%、3.45%、3.83%、3.50% 和 0.04%、1.06%、1.07%、1.59%，且二者无显著差异。

表 4 覆膜与施氮处理对玉米氮素利用效率的影响

年份	处理	吸氮量 (kg · hm ⁻²)		氮肥农学效率 (kg · kg ⁻¹)		氮肥偏生产力 (kg · kg ⁻¹)		氮收获指数 (%)	
		S	P	S	P	S	P	S	P
2020	N0	91.09c	97.84c	—	—	—	—	73.47c	74.02b
	N1	111.38b	116.74b	18.20a	21.18a	88.73a	92.98a	77.65bc	78.68b
	N2	127.97a	132.06a	15.83b	17.29b	52.43b	55.52b	83.88a	85.83a
	N3	122.11ab	126.02a	8.87c	11.04c	33.61c	34.97c	78.85b	80.77b
2021	N0	106.86d	110.11d	—	—	—	—	74.04c	74.43c
	N1	118.59c	122.68c	20.74a	22.89a	88.32a	91.56a	78.89c	79.73b
	N2	131.98a	137.04a	16.97b	19.02b	55.58b	57.53b	83.82a	84.72a
	N3	125.59b	129.98b	11.15c	13.98c	34.45c	35.76c	80.56bc	81.84bc
方差分析									
施氮量 (N)		**		**		**		ns	
覆膜方式 (M)		*		**		**		ns	
N × M		ns		ns		ns		ns	

2.5 地膜覆盖和施氮对玉米产量形成的影响

2.5.1 地膜覆盖与氮肥配施对玉米产量及其构成因素的影响

由表 5 可知，两年间覆膜和施氮在一定程度上影响了穗重、穗长、穗粗、秃尖以及百粒重等性状，进而最终影响玉米产量。同一覆膜下，2020—2021 年间玉米产量均随着氮肥水平提高而逐渐增加，表现为 N2>N3>N1>N0，各施氮处理间差异显著，其中施氮量为 240 kg · hm⁻² 时的玉米产量最高，说明适宜氮肥可促进玉米增产，但氮肥过量施用并未达到增产效果。两年间覆盖 S 膜与 P 膜对产量的影响不显著，各 N 素处理 2020 年覆盖 S 膜较 P 膜分别降低 3.66%、4.79%、5.91%、7.81%；2021 年覆盖 S 膜较 P 膜分别降低 0.67%、3.23%、3.51%、3.01%，且二者无显著差异，说明覆盖 S 膜和 P 膜增产效果一致，均可以促进玉米穗部生长，

使籽粒营养充实，显著增加了玉米产量。地膜覆盖类型与氮肥水平对产量的影响差异显著，且二者无显著交互效应。

2.5.2 覆膜施氮处理下玉米产量、吸氮量、氮素利用效率多元拟合分析

根据两种覆膜类型下不同施氮处理与产量、吸氮量和氮素利用效率的关系，进行多元回归拟合，由拟合曲线可知，玉米产量、吸氮量和氮收获指数均随着施氮量的增加呈现出先增后降的趋势，均在 N2 水平下达到最大值（图 3），说明覆膜后配施适宜的氮肥用量可以明显促进玉米产量形成和提高氮素吸收利用。由图 3 可知，S 膜和 P 膜覆盖下均在施氮量为 240 kg · hm⁻² 时达到最大产量（13338、13806 kg · hm⁻²），较 N3 处理分别提高 6.8% 和 6.1%。最大产量时，S 膜和 P 膜覆盖下的吸氮量较 N3 处理分别提高 4.9% 和 5.2%，氮肥农学效率

表 5 玉米产量及其构成因素

年份	处理	穗重 (g)		穗长 (cm)		穗粗 (cm)	
		S	P	S	P	S	P
2020	N0	159.05c	162.84c	15.20b	15.93b	45.73bc	46.54bc
	N1	190.87b	194.29b	16.57ab	16.47ab	46.30bc	48.20b
	N2	212.31a	220.58a	17.33a	17.77a	50.51a	51.85a
	N3	204.66ab	209.67a	16.80ab	17.83ab	47.17b	48.79b
2021	N0	162.86d	168.84c	13.97b	14.82b	45.19c	45.83c
	N1	198.13c	209.64b	14.85ab	15.18b	46.30b	47.03b
	N2	216.31a	224.32a	15.99a	16.76a	48.16a	50.07a
	N3	208.23b	210.27b	14.66ab	15.79ab	46.15b	46.91b
方差分析							
施氮量 (N)		**		**		**	
覆膜类型 (M)		ns		ns		*	
N × M		ns		ns		ns	

年份	处理	秃尖 (cm)		百粒重 (g)		产量 (kg · hm ⁻²)	
		S	P	S	P	S	P
2020	N0	1.67ab	1.63ab	33.49a	33.65a	8543.59c	8856.24c
	N1	1.62ab	1.62ab	32.58a	33.76a	10647.78b	11157.62b
	N2	1.35c	1.27c	33.51a	33.77a	12582.25a	13325.41a
	N3	1.53bc	1.52b	33.12a	33.45ab	11678.38ab	12590.35a
2021	N0	1.77ab	1.74ab	33.63a	33.85a	8860.75d	8920.43d
	N1	1.34b	1.23b	33.27a	33.02a	11438.31c	11807.49c
	N2	1.64ab	1.22b	33.68a	33.64a	13337.99a	13806.48a
	N3	1.43b	1.52ab	33.62a	33.96a	12601.45b	12981.08b
方差分析							
施氮量 (N)		*		ns		**	
覆膜类型 (M)		ns		ns		*	
N × M		ns		ns		ns	

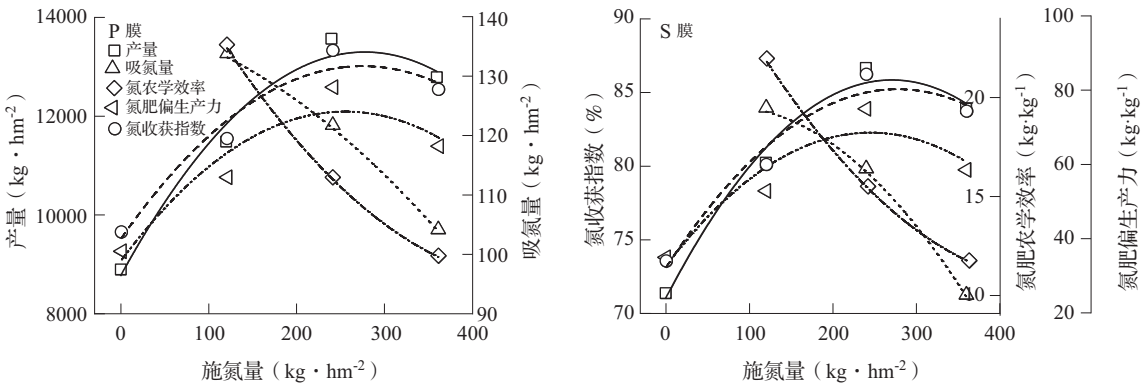


图 3 覆膜施氮量下玉米产量、吸氮量和氮素利用效率的动态变化



分别提高 63.8% 和 45.2%，氮肥偏生产力分别提高 58.7% 和 59.8%，氮收获指数分别提高 5.2% 和 4.9%，两类地膜无显著差异，并且 S 膜可有效减少农田污染，从环境角度考虑，S 膜可有效替代普通塑料膜。

3 讨论

3.1 地膜覆盖与氮肥配施对玉米出苗和苗期土壤温度的影响

玉米是典型的喜温作物，适宜的土壤温度是玉米种子发芽和幼苗生长的关键因素，对玉米生长发育和产量形成至关重要^[16]。本研究发现，生物降解膜覆盖下玉米苗期保温效果与 P 膜相一致（图 1），且 S 膜和 P 膜覆盖下对玉米的出苗时间及出苗率无显著影响（表 3），二者的覆盖效果差异不显著，这可能是由于 S 膜在玉米生育前期具有良好的完整性，因而起到了和普通地膜相同的保温效果，故对玉米出苗的影响效应也一致。这表明降解膜具有显著的增温保墒效果^[17]，有助于玉米出苗^[18-19]，对玉米生长发育有十分重要的影响。

3.2 地膜覆盖与氮肥配施对玉米干物质累积和氮素利用效率的影响

氮肥可以促进玉米干物质的累积和氮素的吸收、利用和分配^[20-21]。由于宁夏低温、干旱等自然条件限制，玉米营养生长期的冠层生长速度往往较慢，地膜覆盖可达到增温保墒的效果以及提高玉米对氮肥的利用效率^[22]。本试验结果表明，S 膜在促进玉米干物质累积与氮素利用方面的效果与 P 膜表现基本一致（图 2 和表 4），S 膜覆盖下配施氮肥可以促进玉米的营养生长，加快干物质累积进程，进而提高营养器官的运转速率，增加干物质累积量，同时可显著提高玉米吸氮量和氮肥利用效率，增加氮收获指数（表 4），这与李仙岳等^[23]研究结果一致，其原因可能是由于 S 膜在玉米生育前期膜面较为完整，相似的土壤环境使玉米的干物质累积和氮素吸收利用情况也相对一致^[24]，因而覆盖效果与 P 膜相差不大，且 S 膜自身具有降解能力，生产中使用对土壤结构未造成影响，还能改善植株的生长状况，保证玉米植株的生长发育^[25-26]。

3.3 地膜覆盖与氮肥配施对玉米产量形成的影响

覆膜栽培与适宜的施氮量相结合可以显著提高玉米的生产潜力，有利于玉米的生长发育和产量形成。方恒等^[27]和 Tan 等^[28]研究认为，降解膜覆

盖和施氮有助于玉米地上部物质积累和籽粒产量提升。罗上轲等^[29]和 Shen 等^[30]研究表明，覆膜条件下施用氮肥可以促进作物光合产物累积和运转，加快玉米的灌浆速率，从而增加籽粒重，这与本研究结果一致。本研究结果表明，降解膜覆盖条件下配施氮肥可以协调玉米产量及产量构成因素之间的关系，促进产量形成（表 5）。S 膜与 P 膜在提高玉米产量方面均有良好的效果，二者的增产效果相当，并无显著的差异性，并且 P 膜降解困难，长期残留于土壤中对农田环境影响很大^[31]，阻碍玉米根系生长，影响土壤结构^[32]，而 S 膜可随玉米生育进程的推进而自然降解，很大程度上降低了残膜污染^[33]，保护了生态环境^[34-35]，从生态保护和长远效益来看，可以用降解膜代替普通地膜用于玉米种植。由多元回归分析可知，S 膜覆盖下的滴灌玉米，施氮量为 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时，可以改善玉米生长条件和生理状态，促进养分吸收，进而获得较高的籽粒产量。

4 结论

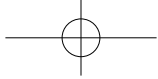
S 膜与 P 膜覆盖对玉米的出苗率、苗期保温效果和产量等影响效应相当，且 S 膜覆盖下，施氮量为 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时对氮肥的利用效率和产量最高；由多元回归分析推荐 S 膜覆盖下施氮量为 $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时可以促进玉米植株形态建成，改善玉米生长环境，提高玉米氮素利用效率，有助于产量形成，且 S 膜可自然降解，解决了地膜回收难等问题。

参考文献：

- [1] 解文艳, 周怀平, 杨振兴, 等. 不同类型地膜覆盖对春玉米生产综合效应研究 [J]. 中国土壤与肥料, 2022 (2): 152-162.
- [2] 申丽霞, 兰印超, 李若帆. 不同降解膜覆盖对土壤水热与玉米生长的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36 (1): 200-206.
- [3] 唐文雪, 马忠明. 地膜降解特征对土壤水热效应和玉米产量的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2018, 37 (1): 114-123.
- [4] 王星, 吕家珑, 孙本华. 覆盖可降解地膜对玉米生长和土壤环境的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2003 (4): 397-401.
- [5] Zhang M M, Song D P, Pu X, et al. Effect of different straw returning measures on resource use efficiency and spring maize yield under a plastic film mulch system [J]. European Journal of



- Agronomy, 2022, 134: 126461.
- [6] 郑毅, 周磊, 刘景辉. 膨润土-腐殖酸型改良剂对沙质土壤氮素气态损失、氮肥利用率和玉米产量的影响[J]. 生态学杂志, 2019, 38(12): 3887-3894.
- [7] 陈松岭, 蒋一飞, 巴闯, 等. 生物改性聚乙烯醇可降解包膜材料的特征及其光谱特性[J]. 中国土壤与肥料, 2017(4): 154-160.
- [8] 巨晓棠, 谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J]. 植物营养与肥科学报, 2014, 20(4): 783-795.
- [9] 胡国辉, 王亚梁, 王军可, 等. 生物可降解膜覆盖对机插水稻氮肥利用率及产量的影响[J]. 生态学杂志, 2020, 39(12): 4005-4014.
- [10] 孙扬, 郭占全, 吴春胜. 地膜覆盖对玉米产量及干物质特性的影响[J]. 灌溉排水学报, 2016, 35(6): 72-75.
- [11] 李仙岳, 冷旭, 张景俊, 等. 北方干旱区降解膜覆盖农田玉米生长和氮素利用模拟及优化[J]. 农业工程学报, 2020, 36(5): 113-121.
- [12] 翟勇全, 魏雪, 运彬媛, 等. 基于无人机图像参数对滴灌条件下玉米氮素营养的动态诊断[J]. 中国农业气象, 2022, 43(4): 308-320.
- [13] 白雪, 周怀平, 解文艳, 等. 不同类型地膜覆盖对玉米农田水热状况及产量的影响[J]. 土壤, 2018, 50(2): 414-420.
- [14] 郭怡婷, 罗晓琦, 王锐, 等. 生物可降解地膜覆盖对关中地区小麦-玉米农田温室气体排放的影响[J]. 环境科学, 2022, 43(5): 2788-2801.
- [15] 兰宇, 姬丽, 贾彪, 等. 基于根系生物量的宁夏滴灌玉米临界氮稀释曲线构建[J]. 生态学杂志, 2022, 41(7): 1448-1456.
- [16] 马树庆, 王琪, 于海, 等. 东北地区玉米出苗速度与水热条件的关系及出苗期气象评估[J]. 生态学杂志, 2013, 32(8): 2049-2055.
- [17] 李荣, 王敏, 贾志宽, 等. 渭北旱塬区不同沟垄覆盖模式对春玉米土壤温度、水分及产量的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(2): 106-113.
- [18] 张杰, 任小龙, 罗诗峰, 等. 环保地膜覆盖对土壤水分及玉米产量的影响[J]. 农业工程学报, 2010, 26(6): 14-19.
- [19] 王敏, 王海霞, 韩清芳, 等. 不同材料覆盖的土壤水温效应及对玉米生长的影响[J]. 作物学报, 2011, 37(7): 1249-1258.
- [20] 付江鹏, 贺正, 贾彪, 等. 水肥一体化施氮水平对玉米籽粒灌浆和脱水过程的影响[J]. 中国农业气象, 2019, 40(12): 772-782.
- [21] 申丽霞, 王璞, 张丽丽. 可降解地膜的降解性能及对土壤温度、水分和玉米生长的影响[J]. 农业工程学报, 2012, 28(4): 111-116.
- [22] 受娜, 高玮, 沈禹颖, 等. 不同施氮量对青贮玉米产量及水分利用效率的影响[J]. 草业科学, 2021, 38(7): 1351-1361.
- [23] 李仙岳, 郭宇, 丁宗江, 等. 不同地膜覆盖对不同时间尺度地温与玉米产量的影响[J]. 农业机械学报, 2018, 49(9): 247-256.
- [24] 周昌明, 李援农, 谷晓博, 等. 降解膜覆盖种植方式对夏玉米土壤养分和氮素利用的影响[J]. 农业机械学报, 2016, 47(2): 133-142, 112.
- [25] 魏淑丽, 王志刚, 于晓芳, 等. 施氮量和密度互作对玉米产量和氮肥利用效率的影响[J]. 植物营养与肥科学报, 2019, 25(3): 382-391.
- [26] 王泽林, 白炬, 李阳, 等. 氮肥施用和地膜覆盖对旱作春玉米氮素吸收及分配的影响[J]. 植物营养与肥科学报, 2019, 25(1): 74-84.
- [27] 方恒, 李援农, 谷晓博, 等. 覆膜与施氮组合下夏玉米籽粒灌浆过程拟合分析[J]. 农业机械学报, 2018, 49(8): 245-252.
- [28] Tan D C, Guo L L, Liu J M, et al. Response of dry matter translocation and grain yield of summer maize to biodegradable film in the North China Plain [J]. International Agrophysics, 2020, 1(34): 87-94.
- [29] 罗上轲, 刘婕, 叶开梅, 等. 覆膜方式与施氮量对春玉米产量、干物质和氮素积累与转运的影响[J]. 玉米科学, 2020, 28(4): 146-154, 164.
- [30] Shen L X, Zhang W M, Lan Y C, et al. Effects of degradable films with different degradation cycles on soil temperature, moisture and maize yield [J]. International Journal of Agricultural and Biological Engineering, 2019, 12(3): 36-44.
- [31] 张淑敏, 宁堂原, 刘振, 等. 不同类型地膜覆盖的抑草与水热效应及其对马铃薯产量和品质的影响[J]. 作物学报, 2017, 43(4): 571-580.
- [32] 白云龙, 李晓龙, 张胜, 等. 内蒙古地膜残留污染现状及残膜回收利用对策研究[J]. 中国土壤与肥料, 2015(6): 139-145.
- [33] 冯晨, 冯良山, 孙占祥, 等. 不同类型地膜添加对辽西褐土硝化潜力的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2021(4): 54-58.
- [34] Fang H, Li Y N, Gu X B, et al. Root characteristics, utilization of water and nitrogen, and yield of maize under biodegradable film mulching and nitrogen application [J]. Agricultural Water Management, 2022, 262: 107392.
- [35] 李开宇, 肖继兵, 杨宁, 等. 不同可降解地膜对土壤水热变化和玉米产量的影响[J]. 中国土壤与肥料, 2019(5): 194-199.



Effects of plastic film mulching combined with different nitrogen fertilizer levels on maize growth and nitrogen utilization

JI Li¹, MA Kun², LI Hong³, YUE Xiang³, ZHAI Yong-quan¹, YUN Bin-yuan¹, MA Jian-zhen¹, ZHANG Hao¹, LI Jia-run¹, JIA Biao^{1*} (1. College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan Ningxia 750021; 2. College of Eco-Environment, Ningxia University, Yinchuan Ningxia 750021; 3. Ningxia Agricultural Environmental Protection Monitoring Station, Yinchuan Ningxia 750002)

Abstract: Mulching is a common planting technique in dryland agriculture. Under the condition of drip irrigation with the integration of water and fertilizer, the effects of mulching of biodegradable film with different levels of nitrogen (N) fertilizer on maize growth and nitrogen utilization were investigated, thus reducing the problems of residual film pollution and excessive nitrogen application in farmland. Two types of mulch [Class II environmental biodegradable film (S) and common film (P)] and four nitrogen levels split plot experiments were set up in 2020 and 2021 in dry farming water-saving irrigation area of Ningxia. The results showed that the effects on seedling rate and emergence stage of drip-irrigated maize under S and P cover were the same, and the insulation effects were comparable at the maize seedling stage without significant differences. Under S cover, with the increase of N application, the accumulation of dry matter, N uptake and utilization, number of ears, seed weight and yield of drip irrigated maize showed a trend of increasing first and then decreasing, and was best at 240 kg · hm⁻² N application, and it was not significantly different from P cover, which indicated that biodegradable mulch could be put into agricultural production instead of common mulch. Multiple regression curves were established between N application and yield, N uptake and N use efficiency of maize under drip irrigation, and the maximum yield (13338 and 13806 kg · hm⁻²) was obtained under S and P cover, and the both corresponding N application was 240 kg · hm⁻². The maximum yields under both mulches were 6.8% and 6.1% higher than those at 360 kg · hm⁻² N (N3) application, and the nitrogen fertilizer agronomic efficiency and nitrogen fertilizer bias productivity were 63.8%, 45.2% and 58.7%, 59.8% higher, respectively. The degradation film was consistent with common mulch in promoting crop emergence, preliminary warming, nitrogen uptake and utilization, and yield, etc. The best application of N at 240 kg · hm⁻² was achieved in promoting crop dry matter accumulation, nitrogen uptake and utilization, and crop yield and efficiency. Therefore, the application of 240 kg · hm⁻² of N fertilizer under S cover can be a suitable planting practice for drip-irrigated maize in the northwest irrigation area.

Key words: maize; biodegradable film; nitrogen application; nitrogen uptake and utilization; yield