

刘小雨, 杨豫, 马琴, 等. 优化栽培与施磷措施对春玉米生育期生长及土壤性质的影响[J]. 华中农业大学学报, 2022, 41(2): 80-87.
DOI: 10.13300/j.cnki.hnlkxb.2022.02.010

优化栽培与施磷措施对春玉米生育期生长 及土壤性质的影响

刘小雨, 杨豫, 马琴, 焦慧洁, 刘金山

西北农林科技大学资源环境学院/农业农村部西北植物营养与农业环境重点实验室, 杨凌 712100

摘要 为探索西北旱地春玉米磷肥利用更高效的栽培措施, 在覆膜与不覆膜2种栽培方式下分别设置条施聚磷酸铵(LAPP)、撒施过磷酸钙(BSSP)、条施过磷酸钙(LSSP)、对照(不施磷肥, CK)4种不同的施磷措施, 研究不同措施对春玉米前期生长及土壤性质的影响。结果显示: 在春玉米生育前期, 覆膜栽培措施相较于不覆膜处理提高了耕层土壤水分含量(24.7%)、温度(11%)、生物量(181%)、地上部磷素累积量(159%)。LAPP处理后碱性磷酸酶活性在覆膜条件下比LSSP处理平均提高7.4%~20.4%, 在不覆膜条件下比BSSP处理平均提高14.8%~45.9%。此外, LAPP处理下土壤速效磷含量及播后50 d的总根长、根表面积、<0.5 mm细根长等整体上要优于其他处理。结果表明, 在西北旱地雨养农业区, 覆膜栽培措施仍是春玉米保水保温、促进生长的主要途径, 条施聚磷酸铵等施磷措施有利于磷肥的高效利用。

关键词 覆膜; 条施肥料; 撒施肥料; 磷肥种类; 春玉米

中图分类号 S147.2; S513 **文献标识码** A **文章编号** 1000-2421(2022)02-0080-08

农业生产中, 施用磷肥有利于根系数量增加、根系形态改善和籽粒产量显著增加^[1], 但过量施用磷肥会导致土壤磷素累积、肥料利用率低、环境超负荷、甚至减产等风险^[2]。在西北玉米生产中, 磷肥施用不合理现象较为普遍。例如在宁夏春玉米种植区, 70.1%的农户磷肥投入量偏高^[3], 在陕西渭北旱塬春玉米种植区, 30.4%以上农户施磷量偏高^[4]。因此, 优化磷肥施用措施对降低磷肥用量、解决全球磷资源短缺问题和提高磷肥利用效率具有重要意义。

在西北旱地, 覆膜基础上磷肥用量减少38%~42%仍可保证玉米稳产^[5]; 磷肥条施较传统撒施可提高农学利用率和产量, 磷酸二铵、重过磷酸钙等磷肥条施全部作基肥作物的根系长度增加2.3%~23.3%, 根系活力提高1倍以上^[6]。此外, 聚磷酸铵磷肥较过磷酸钙磷肥可显著提高石灰性土壤的有效磷含量, 促进磷吸收, 磷肥当季利用率高达67%^[7]。由此说明, 采用不同磷肥品种及施肥措施可进一步影响磷肥利用效率, 但不同区域和作物效果不一致。

玉米苗期或前期是磷素的养分临界期, 对磷肥

有较强的需求, 而且苗期的生长发育直接影响玉米后期的产量以及养分累积。因此, 在此阶段有针对性地开展促进玉米生长的磷肥施用措施探究具有重要意义。但目前针对西北旱区不同优化磷肥施用和栽培措施对春玉米生长前期生长发育和土壤环境的研究较少。故本研究在覆膜和不覆膜栽培2种条件下, 结合不同磷肥施用措施, 探索该地区春玉米生育前期蓄水保墒、磷肥高效吸收利用的优化农业措施, 为提高磷肥利用效率提供依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验于2019—2020年在黄土高原中南部陕西长武县洪家乡王东沟村(35°12'N, 107°40'E, 海拔1 200 m)进行, 该地区地带性土壤为黑垆土, 质地均匀。年平均气温9.1℃, 无霜期171 d。年降水量584 mm, 但受季风影响年际间降雨差异较大, 多集中于春玉米生长季。试验地土壤性质如下: 有机质12.86 g/kg, 全磷0.73 g/kg, 有效磷(Olsen-P)10.5 mg/kg,

收稿日期: 2021-10-06

基金项目: 国家重点研发计划项目(2017YFD0200202)

刘小雨, E-mail: 1363063226@qq.com

通信作者: 刘金山, E-mail: jslu@nwsuaf.edu.cn

硝态氮 15.5 mg/kg, 全氮 0.84 g/kg, 有效钾 133.5 mg/kg, 土壤 pH(H₂O) 为 8.17, 容重 1.23 g/cm³。试验期间(5—9月)月平均降雨分别为 76、128、96、124、100 mm, 平均气温分别为 17、19、21、20、16 °C。

1.2 试验设计

试验采用裂区设计, 主处理为覆膜(FM)和不覆膜(NM), FM处理采用全膜双垄沟栽培模式, NM处理采用无膜双垄沟栽培模式。副处理为不同的磷肥施用措施: 条施聚磷酸铵(LAPP)、撒施过磷酸钙(BSSP)、条施过磷酸钙(LSSP)、对照(CK)。其中CK处理仅施用氮肥和钾肥, 各处理对应的施肥量均为 N 225 kg/hm²、P₂O₅ 70 kg/hm²、K₂O 96 kg/hm²。聚磷酸铵(APP)为 N:P₂O₅:K₂O=18:58:0。条施是指在距离玉米种植行 5 cm 处挖深 10~13 cm 的沟, 将磷肥均匀撒入沟内后填埋。氮肥总量的 50% 和全部磷钾肥作为基肥在土壤旋耕后人工撒施(条施处理除外)并翻入耕层, 其余 50% 氮肥作为追肥在大喇叭口期穴施, 施肥点距离植株 10 cm, 深 10 cm。试验供试玉米品种为先玉 335, 种植密度 65 000 株/hm², 株距 31 cm, 播种日期为 4 月 30 日左右。每个处理重复 3 次, 整个生育期按照农户习惯进行田间管理。

1.3 样品采集与测定

植株样品采集: 在 2019、2020 年玉米播种后第 30 天、第 50 天分别从各小区挖取 3 株玉米, 带回洗干净并分为地上部与根系两部分, 烘干称质量后粉碎备用; 另从各小区挖取 2 株 0~20 cm 深的玉米根系, 洗干净后进行根系扫描。

土壤样品采集: 在以上 2 个时期于每个小区采用“五点法”采集植株行距 0~20 cm 的土壤样品, 挑出杂物后混匀, 分取适量测定土壤水分含量, 其余风干后研磨过孔径 1 mm 筛保存, 用于土壤性质测定。

土壤水分含量、生物量等测定分析均参照文献

[8]; 采用温度记录器(HOBO MX2203 TidbiT 400, 美国)测定土壤温度(深度 10 cm); 采用 WinRHTZO (Regent Instruments Inc., 加拿大)根系扫描系统获得各生育期根系生态指标; 采用磷酸苯二钠比色法^[9]测定土壤碱性磷酸酶活性; 采用碳酸氢钠浸提流动分析仪(AA3, SEAL, 德国)测定土壤速效磷含量; 采用浓 H₂SO₄-H₂O₂ 消煮流动分析仪测定植物样品中的磷养分含量。

1.4 数据计算与处理

试验数据采用 Microsoft Excel 2016 和 DPS (v6.5) 软件进行处理和统计分析, 采用 LSD 法进行方差分析($\alpha=0.05$)。

2 结果与分析

2.1 春玉米生育前期土壤水分含量及温度

覆膜在春玉米的生长发育前期具有显著的保水及保温作用(图 1 和表 1)。2019—2020 年覆膜处理各时期耕层土壤的水分含量及贮水量比不覆膜处理平均高 24.7%(表 1); 春玉米播种后 50 d 内覆膜处理的耕层土壤温度比不覆膜处理平均高 11%(图 1)。

2.2 土壤碱性磷酸酶活性

不同磷肥优化施肥措施影响土壤碱性磷酸酶活性, 且覆膜与不覆膜 2 种条件下的结果呈现相反现象(图 2)。覆膜条件下, LAPP 处理碱性磷酸酶活性在播后 30 d 和 50 d 比 BSSP 处理分别平均低 28.7% 和 30.8%, 比 LSSP 处理分别平均高 7.4% 和 20.4%。不覆膜条件下, LAPP 处理的碱性磷酸酶活性在播后 30 d 与 50 d 比 BSSP 处理分别平均高 45.9% 和 14.8%。

2.3 土壤速效磷含量

LAPP 及 LSSP 处理可显著提高耕层土壤速效磷含量(图 3)。覆膜条件下, 播后 30 d 时条 LAPP 处理 2 年土壤的速效磷含量比 BSSP、LSSP 处理分别

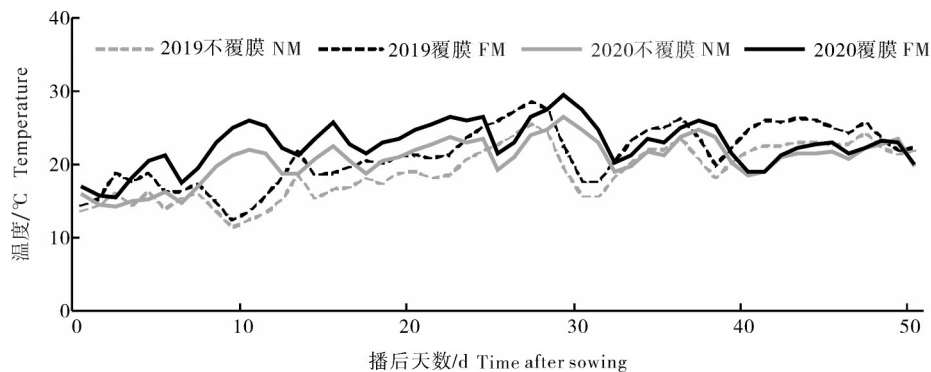


图 1 2019—2020 年春玉米生育前期耕层土壤温度

Fig.1 Soil temperature in the surface layer at the early growth stage of spring maize from 2019 to 2020

表1 2019—2020年生育前期0~20 cm土层各处理土壤含水量与贮水量

Table 1 Soil water content and storage in the 0-20 cm soil layer at the early growth stage of maize from 2019 to 2020

玉米播种后 时间/d Time after sowing	主处理 Main treatment	副处理 Sub treatment	2019		2020		平均 Mean	
			含水量/% Water content	贮水量/mm Water storage	含水量/% Water content	贮水量/mm Water storage	含水量/% Water content	贮水量/mm Water storage
30	覆膜 FM	LAPP	20.2Aa	46.4Aa	16.7Aa	38.5Aa	18.5Aa	42.5Aa
		BSSP	21.0Aa	48.2Aa	16.2Aa	37.2Aa	18.6Aa	42.7Aa
		LSSP	21.3Aa	49.0Aa	16.4Aa	37.7Aa	18.9Aa	43.4Aa
		CK	20.7Aa	47.5Aa	14.6Aa	33.6Aa	17.6Aa	40.6Aa
	不覆膜 NM	LAPP	17.8Ba	40.9Ba	10.0Ba	23.0Ba	13.9Ba	32.0Ba
		BSSP	17.6Ba	40.5Ba	10.5Ba	24.1Ba	14.0Ba	32.3Ba
		LSSP	17.6Ba	40.4Ba	10.3Ba	23.8Ba	14.0Ba	32.1Ba
		CK	17.6Ba	40.5Ba	11.0Ba	25.3Ba	14.3Ba	32.9Ba
50	覆膜 FM	LAPP	18.4Aa	42.3Aa	16.9Ab	38.9Ab	17.6Ab	40.6Ab
		BSSP	19.2Aa	44.2Aa	18.2Aa	41.8Aa	18.7Aa	43.0Aa
		LSSP	18.2Aa	41.8Aa	17.6Aab	40.5Aab	17.9Aab	41.1Aab
		CK	19.3Aa	44.5Aa	18.5Aa	42.6Aa	18.9Aa	43.5Aa
	不覆膜 NM	LAPP	15.2Ba	35.1Ba	13.7Bb	31.5Bb	14.5Bb	33.3Bb
		BSSP	16.1Ba	37.0Ba	16.0Ba	36.7Ba	16.0Ba	36.9Ba
		LSSP	16.1Ba	37.1Ba	14.8Bab	34.1Bab	15.5Bab	35.6Bab
		CK	16.2Ba	37.2Ba	14.7Bab	33.8Bab	15.4Bab	35.5Bab

注:数据为平均值。同列中不同大写字母表示主处理之间差异显著,不同小写字母表示副处理间差异显著($P<0.05$)。下同。Note: Data are shown as the mean values. Different capital letters in the same column indicate the significant differences between the main treatments and the different lowercase letters in the same column indicate the significant differences among the sub treatments ($P<0.05$). The same as below.

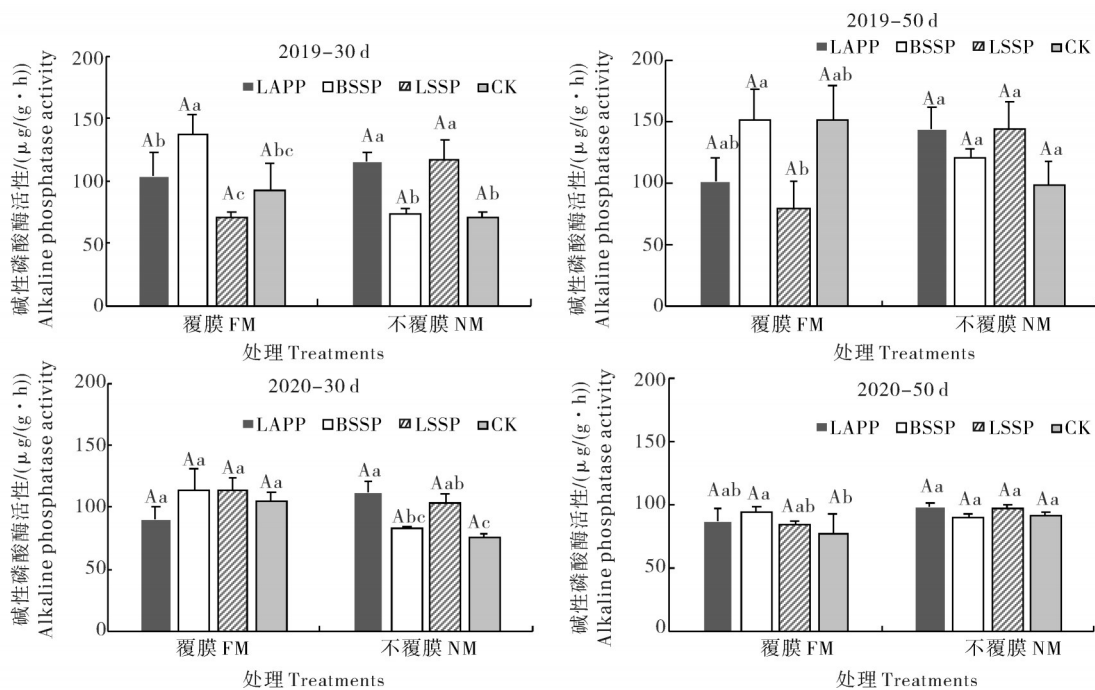


图2 2019—2020年春玉米生育前期耕层土壤碱性磷酸酶活性

Fig.2 Soil alkaline phosphatase activities in the surface layer at the early growth stage of spring maize from 2019 to 2020

平均高 84.2%、34.1%; 播后 50 d 比 BSSP 处理、LSSP 处理分别平均高 61.4%、31.1%。在不覆膜条

件下也有相似趋势, 条施磷肥土壤速效磷含量整体要高于撒施处理。

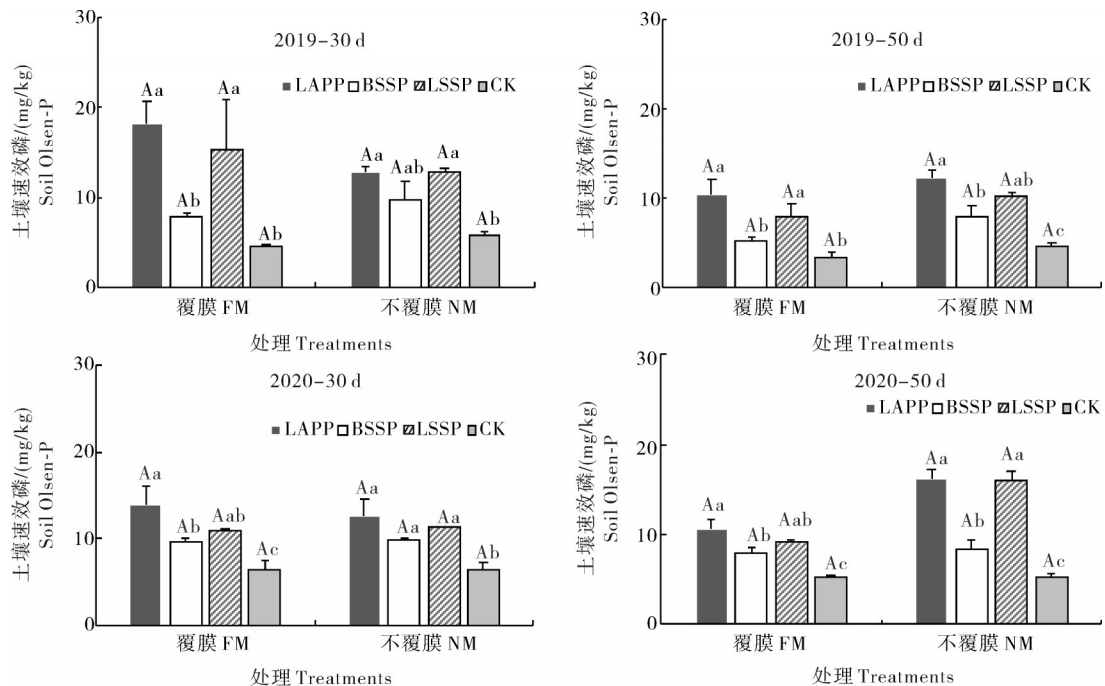


图3 2019—2020年春玉米生育前期耕层土壤速效磷含量

Fig.3 Soil available phosphorus content in the surface soil at the early growth stage of spring maize from 2019 to 2020

2.4 春玉米生育前期根系形态特征

覆膜处理根系各形态参数整体上优于不覆膜处理(表2)。播后 50 d, LAPP 处理总根长在覆膜条件下比 LSSP 处理平均高 16.76%、比 BSSP 处理平均高 15.4%, 在不覆膜处理条件下比 BSSP 处理平均高 22.5%; LAPP 处理根表面积在覆膜条件下比其他处理平均高 9.38%~34.74%, 在不覆膜条件下比其他处理平均高 3.1%~40.8%; LAPP 处理 ≤ 0.5 mm 细根长在覆膜与不覆膜条件下比其他处理分别平均高 15.4%~43.2% 和 10.3%~102.2%。

2.5 春玉米生育前期生物量及磷素吸收

覆膜显著提高了春玉米生育前期根系及地上部生物量和磷素吸收累积量(表3)。2019—2020年在播后第30天和第50天, 覆膜处理不同施肥措施下平均磷素累积量是不覆膜处理的 2.9~3.5 倍, 但各优化施肥处理间在生物量、磷含量及累积量方面表现不同。

3 讨论

3.1 优化栽培与施肥措施对土壤性质的影响

地膜覆盖可使土壤的水热条件得到优化, 减少水分蒸发并保证土壤温度, 促进作物的生长从而提

高产量^[10]。本研究覆膜提高春玉米生育前期耕层土壤水分含量 20% 以上(表1), 提高耕层土壤温度 10% 以上(图1), 这是因为生育前期玉米植株叶面较小, 覆膜处理有效减少了长波辐射, 且减少水分蒸发, 起到保温保墒的作用^[11]。

土壤磷酸酶对有机磷的矿化及植物的磷素营养有重要影响, 覆膜可显著提高土壤碱性磷酸酶活性^[12], 且土壤养分充足时微生物相对较为活跃, 酶活性也相应较高^[13]。覆膜栽培措施改善了微环境, 条施处理下春玉米前期生长快, 土壤养分消耗量大, 导致残留在土壤中的养分较撒施处理少, 因此覆膜情况下 LSSP 处理碱性磷酸酶活性低于 BSSP 处理。而 LAPP 处理碱性磷酸酶活性高于 LSSP 处理可能与其根系生长比较旺盛有关(图2)。

施用磷肥可明显提高耕层土壤的速效磷含量, 且在一定范围内二者呈正相关^[14]。在本研究中施用磷肥可显著提高土壤速效磷含量, 其中 LAPP 处理要高于其他处理 6.4% 以上, 比不施磷肥高出 84.2% (图3)。磷肥条施较为集中、与土壤接触面较撒施处理小, 被土壤固定减少, 导致土壤速效磷含量较撒施处理高, 这与 Thomas 等^[15]的研究结果一致, 而聚磷酸铵作为缓溶性长效肥料^[16], 一定程度也影响了土

表2 2019—2020年春玉米生育前期单株根系形态参数

Table 2 Root morphological parameters per plant at the early growth stage of spring maize from 2019 to 2020

玉米播种后 时间/d Time after sowing	年份 Year	主处理 Main treatment	副处理 Sub treatment	总根长/cm Total length	根表面积/cm ² Surface area	根体积/cm ³ Root volume	<0.50 mm根长/cm Length of roots with less 0.50 mm
30	2019	覆膜 FM	LAPP	334.0Aa	71.9Aa	1.25Aa	321.5Aa
			BSSP	285.2Aa	58.6Aa	1.14Aa	273.0Ab
			LSSP	327.5Aa	67.1Aa	1.24Aa	297.0Aa
		不覆膜 NM	CK	287.1Aa	62.2Aa	1.08Aa	235.8Ac
			LAPP	340.1Aab	58.7Aa	0.91Ba	218.7Ab
			BSSP	265.1Ab	57.0Aa	0.83Ba	193.6AAb
	2020	覆膜 FM	LSSP	436.5Aa	74.6Aa	1.02Ba	297.0Aa
			CK	344.3Aab	67.9Aa	0.74Ba	217.9Abc
			LAPP	763.6Aa	201.0Aa	4.21Aa	401.3Aa
		不覆膜 NM	BSSP	599.4Ab	168.1Ab	3.87Aa	267.1Abc
			LSSP	659.0Aab	174.8Aab	3.79Aa	349.7Aab
			CK	461.5Ac	140.4Ac	3.41Aa	174.7Ac
50	2019	覆膜 FM	LAPP	545.0Aa	121.9Ba	2.17Ba	346.7Aa
			BSSP	489.8Aa	117.3Ba	2.24Ba	276.1Aa
			LSSP	441.9Aa	120.5Ba	2.63Ba	238.7Aa
		不覆膜 NM	CK	573.2Aa	131.1Ba	2.39Ba	353.7Aa
			LAPP	1 775.9Aa	537.5Aa	13.33Aa	1 046.4Aa
			BSSP	1 248.7Ab	318.6Ab	10.56Aab	808.4Ab
	2020	覆膜 FM	LSSP	1 787.7Aa	472.9Aa	11.25Aab	1 218.0Aa
			CK	1 274.7Ab	336.2Ab	8.31Ab	851.1Ab
			LAPP	1 612.0Aa	377.1Aa	8.59Ba	1 080.0Aa
		不覆膜 NM	BSSP	1 124.0Ab	324.0Aa	7.32Ba	848.2Ab
			LSSP	1 330.9Aab	312.5Aa	7.44Ba	889.4Aab
			CK	674.1Ac	281.2Aa	2.32Bb	508.2Ac
2020	覆膜 FM	LAPP	4 111.1Aa	1 114.8Aa	25.50Aa	2 798.7Aa	
		BSSP	3 853.1Aa	1 065.8Aa	24.93Aa	2 523.2Aab	
		LSSP	3 254.1Aab	1 037.7Aa	27.38Aa	2 071.8Aab	
	不覆膜 NM	CK	2 847.9Ab	890.0Aa	23.54Aa	1 834.1Ab	
		LAPP	2 566.1Aa	581.6Aa	12.03Ba	1 894.2Aa	
		BSSP	2 287.7Aa	536.0Aa	10.32Ba	1 587.6Aab	
2020	不覆膜 NM	LSSP	2 593.1Aa	617.0Aa	12.13Ba	1 806.2Aab	
		CK	1 462.7Aa	399.7Aa	9.01Ba	962.7Ab	

壤速效磷的有效性。

3.2 优化栽培与施肥措施对春玉米生长的影响

覆膜的保温保墒作用有利于春玉米生育前期根系及地上部的生长发育^[17]。本研究中,覆膜处理根体积、根表面积、总根长及直径<0.50 mm细根长整体上高于不覆膜处理(表2),且显著提高了根系及地上部的干物质累积量(表3)。此外,相较于传统撒施磷肥,该研究中条施磷肥对春玉米生育前期根长及根表面积也有所提高(表2),这与范秀艳等^[18]改变养分的供应位置,可有效刺激根系生长或增殖,提高植

物对土壤养分的吸收面积这一研究结论一致。江尚焘等^[19]研究表明,磷肥集中施用有利于作物的生长与生物量的累积。本试验2年期间不同磷肥施用措施对春玉米的前期根系及地上部生物量无显著影响(表3),可能由于该地区试验期内降水充足、磷营养得到及时供应,导致磷肥优化措施效果不明显。

3.3 优化栽培与施肥措施对春玉米磷素吸收利用的影响

春玉米前生育期,覆膜处理根系及地上部生物量较不覆膜明显提高,在植株体内磷素含量无明显

表3 2019—2020年春玉米生育前期单株生物量及磷素吸收累积量

Table 3 Biomass and phosphorus uptake and accumulation per plant at early growth stage of spring maize from 2019 to 2020

玉米播种后 时间/d Time after sowing	年份 Year	主处理 Main treatment	副处理 Sub treatment	生物量/g Biomass		磷含量/(g/kg) P content		磷累积量/mg P accumulation
				根系 Root	地上部 Shoot	根系 Root	地上部 Shoot	
30	2019	覆膜 FM	LAPP	0.28Aa	1.60Aa	2.07Aa	5.57Aab	9.54Aa
			BSSP	0.27Aa	1.41Ab	1.80Ab	5.80Aab	8.64Aab
			LSSP	0.29Aa	1.24Ac	2.08Aa	5.99Aa	8.04Ab
		不覆膜 NM	CK	0.23Aa	1.19Ac	2.20Aa	5.39Ab	6.87Ac
			LAPP	0.21Aa	0.68Ba	1.22Aa	5.13Aa	3.77Ba
			BSSP	0.18Aa	0.56Ba	1.39Aa	4.74Aa	2.93Bab
	2020	覆膜 FM	LSSP	0.24Aa	0.65Ba	1.28Aa	5.05Aa	3.56Bab
			CK	0.23Aa	0.51Ba	1.31Aa	3.97Ab	2.33Bb
			LAPP	0.47Aa	2.40Aa	1.30Aa	5.10Aab	12.80Aa
		不覆膜 NM	BSSP	0.47Aa	2.25Aa	1.23Aa	5.33Aa	12.51Aa
			LSSP	0.45Aab	2.45Aa	1.28Aa	5.38Aa	13.74Aa
			CK	0.37Ab	1.86Ab	1.14Aa	4.77Ab	9.35Ab
50	2019	覆膜 FM	LAPP	0.26Ba	0.58Ba	1.22Aa	4.63Ba	3.00Ba
			BSSP	0.22Ba	0.54Ba	1.08Aa	4.17Ba	2.50Ba
			LSSP	0.26Ba	0.62Ba	1.19Aa	4.33Ba	2.99Ba
		不覆膜 NM	CK	0.27Ba	0.46Ba	1.04Aa	3.73Bb	2.01Ba
			LAPP	3.00Aab	28.4Aa	1.62Aa	3.78Aa	112.3Aa
			BSSP	3.50Aa	27.4Aa	1.69Aa	3.73Aa	108.7Aa
	2020	覆膜 FM	LSSP	2.78Aab	28.1Aa	1.58Aa	3.66Aa	107.2Aa
			CK	2.61Ab	21.0Ab	1.68Aa	3.42Aa	77.1Ab
			LAPP	1.09Bab	12.8Ba	1.55Aa	3.58Aa	47.5Ba
		不覆膜 NM	BSSP	1.37Ba	8.7Bab	1.44Aa	3.60Aa	33.2Ba
			LSSP	1.05Bab	11.1Bab	1.62Aa	3.56Aa	41.7Ba
			CK	0.49Bb	7.2Bb	1.39Aa	3.25Aa	25.0Ba
2020	覆膜 FM	LAPP	5.96Aa	30.4Aa	0.80Aa	2.72Aa	87.8Aa	
		BSSP	6.20Aa	27.5Ab	0.84Aa	2.72Aa	80.0Aa	
		LSSP	6.40Aa	32.8Aa	0.78Aa	2.54Aa	88.5Aa	
	不覆膜 NM	CK	4.93Ab	21.5Ac	0.67Ab	2.33Ab	53.7Ab	
		LAPP	2.31Ba	8.76Ba	0.68Ab	2.62Aa	24.6Ba	
		BSSP	1.74Ba	9.47Ba	0.79Aa	2.46Aa	24.6Ba	
			LSSP	1.91Ba	8.81Ba	0.83Aa	2.49Aa	23.7Ba
			CK	1.94Ba	10.8Ba	0.68Ab	2.42Aa	27.6Ba

差异的情况下,覆膜处理在同时期获得了较高的磷素累积量(表3)。这与程明芳等^[20]对全国不同地区及不同作物的磷素吸收探究结果一致。磷在土壤中的扩散移动能力较弱,植物吸收利用磷素能力取决于根系生长情况^[21],且相较于传统的磷肥,施用聚磷酸铵磷肥可提高磷素吸收利用^[22]。在本研究中,LAPP处理玉米根系形态参数优于其他处理,植株磷素吸收累积整体上略高于其他处理但无显著差异,可能与这2年生育前期降水量比较充足,土壤水分对

聚磷酸铵分解作用较强有关^[23]。此外,苏同庆等^[24]的盆栽试验表明磷肥集中施用可提高作物对磷素的吸收。在本研究中,条施磷肥处理并没有表现出明显的优势。因为磷肥本身转化吸收过程相对复杂,受土壤类型和土地利用方式等多方面因素影响^[25],导致差异的具体原因还需进一步探究。既要满足该地玉米更好生长,又要保证磷肥的高效利用,采用覆膜加上条施磷肥(如聚磷酸铵)是目前较为合理的栽培措施。

参考文献References

- [1] 王寅,郭聘,高强,等.吉林省不同生态区玉米施磷的增产效应差异[J].中国农业科学,2017,50(9):1635-1645.WANG Y, GUO D, GAO Q, et al. Differences in maize yield responses to phosphorous fertilizer in different ecological zones of Jilin Province [J]. *Scientia agricultura sinica*, 2017, 50 (9) : 1635-1645 (in Chinese with English abstract).
- [2] 刘怀伟,谭启玲,陈敏,等.磷减量配施锌肥对琯溪蜜柚果实产量和品质的影响[J].华中农业大学学报,2021,40(1):70-76.LIU H W, TAN Q L, CHEN M, et al. Effects of phosphorus fertilizer reduction with zinc fertilizer foliar application on fruit yield and quality of Guanxi pomelo [J]. *Journal of Huazhong Agricultural University*, 2021, 40(1):70-76 (in Chinese with English abstract).
- [3] 夏海雪,陈雪娇,张旭东,等.六盘山区旱作春玉米养分投入与肥料生产效率[J].干旱地区农业研究,2018,36(4):40-45, 52. XIA H X, CHEN X J, ZHANG X D, et al. Nutrient input and fertilizer production efficiency analysis for dry-cultivation spring maize in dryland of Liupanshan area [J]. *Agricultural research in the arid areas*, 2018, 36 (4) : 40-45, 52 (in Chinese with English abstract).
- [4] 王浩,董朝阳,王淑兰,等.基于春玉米籽粒产量的渭北旱塬区农户施肥现状评价[J].植物营养与肥料学报,2018,24(3):590-598. WANG H, DONG Z Y, WANG S L, et al. Evaluation on fertilization of farmer practice based on grain yield of spring maize in Weibei dryland [J]. *Journal of plant nutrition and fertilizers*, 2018, 24 (3) : 590-598 (in Chinese with English abstract).
- [5] 马琴,刘小雨,冉瑾怡,等.磷肥减量结合硫酸铵配施提高西北旱地春玉米磷素利用效率[J].植物营养与肥料学报,2020,26(6):1047-1058. MA Q, LIU X Y, RAN J Y, et al. Improving phosphorus use efficiency of spring maize by reducing phosphate fertilizer rate and replacing urea with ammonium sulfate in dryland of Northwest China [J]. *Journal of plant nutrition and fertilizers*, 2020, 26 (6) : 1047-1058 (in Chinese with English abstract).
- [6] 帕尔哈提·克依木,张少民,孙良斌,等.磷肥做种肥条施对棉花根系活力及产量的影响[J].中国农学通报,2015,31(9):158-161. PAERHATI K, ZHANG S M, SUN L B, et al. Banding phosphorus as seed manure enhances root activity and seed yield of cotton [J]. *Chinese agricultural science bulletin*, 2015, 31(9):158-161 (in Chinese with English abstract).
- [7] 高艳菊,亢龙飞,褚贵新.不同聚合度和聚合率的聚磷酸磷肥对石灰性土壤磷与微量元素有效性的影响[J].植物营养与肥料学报,2018,24(5):1294-1302. GAO Y J, KANG L F, CHU G X. Polymerization degree and rate of polyphosphate fertilizer affected the availability of phosphorus, Fe, Mn and Zn in calcareous soil [J]. *Journal of plant nutrition and fertilizers*, 2018, 24(5):1294-1302 (in Chinese with English abstract).
- [8] 鲍士旦.土壤农化分析[M].3版.北京:中国农业出版社,2000. BAO S D. *Soil and agricultural chemistry analysis* [M]. 3rd ed. Beijing: Chinese Agriculture Press, 2000 (in Chinese).
- [9] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:中国农业出版社,1986:376. GUAN S Y. *Soil enzymes and their research methods* [M]. Beijing: China Agriculture Press, 1986:376 (in Chinese).
- [10] ZHANG Y Q, WANG J D, GONG S H, et al. Effects of film mulching on evapotranspiration, yield and water use efficiency of a maize field with drip irrigation in Northeastern China [J]. *Agricultural water management*, 2018, 205:90-99.
- [11] 潘雅文,樊军,郝明德,等.黄土塬区长期不同耕作、覆盖措施对表层土壤理化性状和玉米产量的影响[J].植物营养与肥料学报,2016,22(6):1558-1567. PAN Y W, FAN J, HAO M D, et al. Effects of long-term tillage and mulching methods on properties of surface soil and maize yield in tableland region of the Loess Plateau [J]. *Journal of plant nutrition and fertilizer*, 2016, 22(6):1558-1567 (in Chinese with English abstract).
- [12] 康慧玲,刘淑英,王平,等.覆膜和灌溉对小麦秸秆还田土壤酶活性的影响[J].干旱区资源与环境,2017,31(5):163-167. KANG H L, LIU S Y, WANG P, et al. Effects of wheat straw returned on soil enzyme activities after coating and irrigating [J]. *Journal of arid land resources and environment*, 2017, 31 (5):163-167 (in Chinese with English abstract).
- [13] 王梅,晏梓然,赵子文,等.黄土高原植被演替过程中相对土壤酶活性的变化特征[J].水土保持学报,2021,35(5):181-187. WANG M, YAN Z R, ZHAO Z W, et al. Variation characteristics of specific soil enzyme activities during vegetation succession on the loess plateau [J]. *Journal of soil and water conservation*, 2021, 35 (5) : 181-187 (in Chinese with English abstract).
- [14] 马清霞,王朝辉,惠晓丽,等.基于产量和养分含量的旱地小麦施磷量和土壤有效磷优化[J].中国农业科学,2019,52(1):73-85. MA Q X, WANG Z H, HUI X L, et al. Optimization of phosphorus rate and soil available phosphorus based on grain yield and nutrient contents in dryland wheat production [J]. *Scientia agricultura sinica*, 2019, 52 (1) : 73-85 (in Chinese with English abstract).
- [15] THOMAS B M, RENGEL Z. Di-ammonium phosphate and mono-ammonium phosphate improve canola growth when banded in a P-fixing soil compared with triple superphosphate [J]. *Australian journal of agricultural research*, 2002, 53 (11) : 1211-1218.
- [16] 熊子怡,邱焯,郭琳钰,等.聚磷酸铵在土壤中有有效性的变化及其影响因素[J].植物营养与肥料学报,2020,26(8):1473-1480. XIONG Z Y, QIU Y, GUO L Y, et al. The availability of ammonium polyphosphate in soil and the impacting factors [J]. *Journal of plant nutrition and fertilizers*, 2020, 26 (8) : 1473-1480 (in Chinese with English abstract).
- [17] 高玉红,牛俊义,闫志利,等.不同覆膜栽培方式对玉米干物质积累及产量的影响[J].中国生态农业学报,2012,20(4):440-446. GAO Y H, NIU J Y, YAN Z L, et al. Effects of different plastic-film mulching techniques on maize (*Zea mays* L.) dry matter accumulation and yield [J]. *Chinese journal of eco-agriculture*, 2012, 20(4):440-446 (in Chinese with English abstract).
- [18] 范秀艳,杨恒山,高聚林,等.超高产栽培下磷肥运筹对春玉米根系特性的影响[J].植物营养与肥料学报,2012,18(3):562-570. FAN X Y, YANG H S, GAO J L, et al. Effects of phosphorus application on root characteristics of super-high-yield spring maize [J]. *Plant nutrition and fertilizer science*, 2012, 18(3):562-570 (in Chinese with English abstract).
- [19] 江尚焘,王火焰,周健民,等.磷肥施用方式及类型对冬小麦

- 产量和磷素吸收的影响[J]. 应用生态学报, 2016, 27(5): 1503-1510. JIANG S T, WANG H Y, ZHOU J M, et al. Effects of phosphorus fertilizer application methods and types on the yield and phosphorus uptake of winter wheat [J]. Chinese journal of applied ecology, 2016, 27(5): 1503-1510 (in Chinese with English abstract).
- [20] 程明芳, 何萍, 金继运. 我国主要作物磷肥利用率的研究进展[J]. 作物杂志, 2010(1): 12-14. CHENG M F, HE P, JIN J Y. Advance of phosphate recovery rate in Chinese main crops [J]. Crops, 2010(1): 12-14 (in Chinese with English abstract).
- [21] LI H B, MA Q H, LI H G, et al. Root morphological responses to localized nutrient supply differ among crop species with contrasting root traits [J]. Plant and soil, 2014, 376(1/2): 151-163.
- [22] 陶金铭, 刘烁然, 司艳玲, 等. 聚磷酸铵溶液在春玉米上的施用效果研究[J]. 玉米科学, 2021, 29(1): 146-153. TAO J M, LIU S R, SI Y L, et al. Study on the application effect of ammonium polyphosphate on spring corn [J]. Journal of maize sciences, 2021, 29(1): 146-153 (in Chinese with English abstract).
- [23] 彭正萍, 张家铜, 袁硕, 等. 不同供磷水平对玉米干物质和磷动态积累及分配的影响[J]. 植物营养与肥科学报, 2009, 15(4): 793-798. PENG Z P, ZHANG J T, YUAN S, et al. Effects of different phosphorus application rates on the dynamic accumulation and distribution of dry matter and phosphorus in maize [J]. Plant nutrition and fertilizer science, 2009, 15(4): 793-798 (in Chinese with English abstract).
- [24] 苏同庆, 邢璐, 王火焰, 等. 氮磷配施和施肥方式对潮土 Olsen-P 和小麦磷吸收的影响[J]. 华北农学报, 2021, 36(1): 152-158. SU T Q, XING L, WANG H Y, et al. The impacts of nitrogen combined with phosphorus and application methods on Olsen-P and phosphorus uptake of wheat in fluvo-aquic soil [J]. Acta agriculturae boreali-sinica, 2021, 36(1): 152-158 (in Chinese with English abstract).
- [25] MAHARJAN M, MARANGUIT D, KUZYAKOV Y. Phosphorus fractions in subtropical soils depending on land use [J]. European journal of soil biology, 2018, 87: 17-24.

Effects of optimized cultivation and phosphorus fertilization practices on spring maize growth and soil properties

LIU Xiaoyu, YANG Yu, MA Qin, JIAO Huijie, LIU Jinshan

*College of Natural Resources and Environment, Northwest A&F University/
Key Laboratory of Plant Nutrition and Agro-Environment in Northwest China,
Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Yangling 712100, China*

Abstract To study the effects of different optimized practices on the growth of spring maize and soil properties under no mulch (NM) and plastic film mulch (FM) cultivations, and provide the optimized management of phosphorus (P) fertilization that improve P use efficiency, a field experiment with four P fertilization practices was carried out: CK(no P fertilizer), LAPP(localized fertilization of ammonium polyphosphate), BSSP (broadcasted fertilization of calcium superphosphate), LSSP (localized fertilization of calcium superphosphate). The results showed that in the early growth stage of spring maize, compared with NM cultivation, soil water content and water storage under FM cultivation were increased by 24.7%, and soil temperature was increased by 11%. The aboveground biomass of maize under FM was 1.81 times higher than that under NM after sowing. The accumulation of P in the maize shoot under FM was 1.59 times higher than that under NM. The alkaline phosphatase activity in the LAPP treatment was 28.7%-30.8% lower but 7.4%-20.4% higher than that in the BSSP treatment under FM condition, and 14.8%-45.9% higher than that in the BSSP treatment under NM. Soil available P content in the LAPP treatment was higher than that in other treatments. In addition, at 50-day after sowing, the total root length, root surface area and length of fine root (<0.5 mm) in the LAPP treatment were grow better than that in other treatments. Therefore, film mulching is still the main way to keep water and heat and promote the growth of spring maize in the rainfed areas of Northwest China, and localized application of ammonium polyphosphate is beneficial to the growth of maize and the use efficiency of P fertilizer.

Keywords film mulching; localized fertilization; broadcast fertilization; phosphate forms; spring maize

(责任编辑: 赵琳琳)