

# 施磷深度对春玉米干物质及磷积累与转运的影响

段刚强, 杨恒山, 张瑞富, 毕文波, 何冬冬

(内蒙古民族大学农学院, 内蒙古 通辽 028042)

**摘要:** 以郑单 958 为供试品种, 在土柱栽培条件下, 以不施磷肥为对照, 研究了 6 cm(T6)、12 cm(T12)、18 cm(T18)和 24 cm(T24) 4 个施磷深度对春玉米干物质及磷素养分积累与转运的影响。结果表明: 随着施磷深度的增加春玉米干物质积累量和籽粒产量呈先升后降的趋势, 均以 12 cm 施磷深度处理最大, 6 cm 施磷深度处理次之, 24 cm 施磷深度处理最小; 叶和茎鞘干物质转运量、转运率以及对籽粒贡献率均以 6 cm 施磷深度处理最大, 各处理之间大小为 T6 > T12 > T18 > T24 > CK; 器官磷含量、磷积累量以 12 cm 施磷深度处理最大, 各处理之间大小顺序为 T12 > T6 > T18 > T24 > CK; 磷转运量、转运率和转运对籽粒贡献率总体上以 6 cm 施磷深度处理较高, 6 cm 施磷深度叶的磷转运量、转运率和转运对籽粒贡献率分别比其它处理高 5.6% ~ 59%、9.8% ~ 12.6% 和 11.3% ~ 35.6%; 6 cm 施磷深度茎鞘的磷转运量、转运率和转运对籽粒贡献率分别比其它处理高 9.0% ~ 65.4%、9.0% ~ 10.2%、14.9% ~ 50.3%, 磷肥偏生产力、磷吸收效率和利用效率均以 12 cm 施磷深度处理最大, 且与其他处理间差异均达到显著水平, 表明适度增加磷肥施用深度是提高磷肥利用效率的有效途径。

**关键词:** 春玉米; 干物质; 磷含量; 积累与转运

**中图分类号:** S513; S314 **文献标志码:** A

## Effects of phosphorus placement depth on dry matter and phosphorus accumulation and transfer of spring maize

DUAN Gang-qiang, YANG Heng-shan, ZHANG Rui-fu, BI Wen-bo, HE Dong-dong

(Agronomy Department of Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao, Inner Mongolia 028042, China)

**Abstract:** Zhengdan958 was employed as the experimental material under the condition of earth pillar cultivation, using no phosphorus as control, to investigate the effects of four phosphorus placement depths including 6, 12, 18 cm, and 24 cm, on the accumulation and transportation of dry matter and phosphorus nutrient in spring maize. The results showed that with the increase of phosphorus depth, dry matter accumulation amounts and grain yield were increased first and became decreased afterwards, all reaching the maximum at the 12 cm phosphorus placement depth. For leaf and stem-sheath dry matter translocation amounts and translocation rates, the contribution rates to grain were all the maximums at the 6 cm phosphorus placement depth. The phosphorus contents and accumulations of organ at the 12 cm phosphorus placement depth were the maximums. For phosphorus translocation amounts and translocation rates, the contribution rates to grain at the 6 cm phosphorus placement depth were overall the highest. The phosphorus element partial factor productivity, absorption and utilization rates were all the maximums at the 12 cm phosphorus placement depth, reaching significant different levels. It showed that moderately increasing phosphorus placement depths was an effective approach to the improvement phosphorus utilization rate.

**Keywords:** spring maize; dry matter; phosphorus content; accumulation and translocation

近年来, 由于小动力机械旋耕灭茬、播种施肥一体化农机施磷较浅和相对高量的磷肥施用, 造成土壤磷素表层富积而下层含量不足<sup>[1-2]</sup>。现代玉米新品种根系空间分布具有“横向紧缩, 纵向延伸”的特

点<sup>[3-4]</sup>, 特别是在增密、深松等高产栽培条件下, 根系重心下移的趋势更加明显<sup>[5-6]</sup>。磷在土壤中的移动性差, 从施肥点上下左右移动一般不超过 1 ~ 3 cm, 因而玉米对磷的吸收范围几乎就是根系的分布

收稿日期: 2015-07-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(31360308); 国家粮食丰产科技工程(2012BAD04B04)

作者简介: 段刚强(1990—), 男, 山东济宁人, 硕士研究生, 主要从事玉米高产栽培研究。E-mail: duangq@163.com。

通信作者: 杨恒山(1967—), 男, 内蒙古兴和人, 教授, 博士, 主要从事作物高产栽培研究。E-mail: yanghengshan2003@aliyun.com。

范围<sup>[7-8]</sup>。土壤磷素分布与高产玉米根系分布的空间匹配性变差,直接影响到玉米对磷的吸收和利用。基于以上分析,本试验在土柱栽培条件下,研究施磷深度对高产春玉米干物质及磷素养分积累与转运的影响,以期对玉米高产与磷高效的养分管理提供理论参考,为提高玉米磷肥利用率探索新的途径。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2014 年,在地处西辽河平原的内蒙古民族大学实验农场(43°36'N, 122°22'E)进行。试验点多年平均无霜期为 150 d,全年平均气温 6.8℃,≥10℃的活动积温 3 200℃,多年平均降水量为 384.6 mm。土壤类型为灰色草甸土,播前土壤耕层(0~20 cm)养分状况为:有机质 15.2 g·kg<sup>-1</sup>、全氮 0.96 g·kg<sup>-1</sup>、碱解氮 53.45 mg·kg<sup>-1</sup>、速效磷 10.63 mg·kg<sup>-1</sup>、速效钾 79.88 mg·kg<sup>-1</sup>,pH 值 8.38,试验田具有完善的灌溉条件。

### 1.2 供试材料

供试品种为郑单 958,由北京德农种业有限公司提供。供试磷肥为重过磷酸钙,有效磷含量≥44.0%,由贵州开磷责任有限公司生产。

### 1.3 试验设计

试验在土柱栽培条件下进行,土柱为外径 32 cm,高 100 cm 的圆柱状 PE 管,下部用纱网封底,用细铁丝捆紧,置于预先挖好的长 10 m,宽 2.5 m,深 1 m 的土坑内。采用分层填土并结合分时段灌水沉实的方法,尽可能保持大田原状土样。每处理 26 个土柱为 1 行,共 5 行,株距 32 cm,行距 41.6 cm,种植密度 7.5 万株·hm<sup>-2</sup>,柱间空隙用土填实。

试验设 6、12、18 cm 和 24 cm 施磷深度 4 个处理,施磷量均为 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 1.6 g·柱<sup>-1</sup>(120 kg·hm<sup>-2</sup>),并以不施磷肥为对照,分别以 T6、T12、T18、T24 和 CK 来表示。试验施钾量为 K<sub>2</sub>O 1.2 g·柱<sup>-1</sup>(90 kg·hm<sup>-2</sup>),播前施于 15 cm 土层处;在拔节期和大口期各追施 N 2.6 g·柱<sup>-1</sup>(195 kg·hm<sup>-2</sup>)、5.2 g·柱<sup>-1</sup>(390 kg·hm<sup>-2</sup>)。四周按土柱设计密度种植保护行,品种、施肥水平均同土柱栽培。试验于 2014 年 4 月 28 日播种,9 月 29 日收获。生育期灌溉 4 次,每次灌溉标准为 750 m<sup>3</sup>·hm<sup>-2</sup>。

### 1.4 样品采集与测定

1.4.1 干物质重及磷含量测定 分别在大喇叭口期(07-01)、吐丝期(07-25)、吐丝后 15 d(08-10)、乳熟期(08-25)和完熟期(09-29),每处理取有代表性连续 3 株,分叶片、茎鞘(茎+叶鞘)、穗部营养

体(苞叶+穗轴+穗柄)和籽粒,在 105℃杀青 30 min,65℃烘干至恒重后测定干物质重。留小样粉碎后,用钒钼黄比色法测定各器官的磷含量<sup>[9]</sup>。

1.4.2 产量及产量构成因素 收获时测定各处理剩余春玉米籽粒产量,并取样测定籽粒含水量,折算出 14%含水量下的籽粒产量。

### 1.5 相关参数计算公式<sup>[10-13]</sup>

干物质转运量 = 吐丝后 15 d 各器官干物质积累量 - 收获期相应器官干物质积累量

干物质转运率 = 器官干物质转运量 / 吐丝后 15 d 相应器官干物质积累量 × 100%

器官干物质转运量对产量的贡献率 = 器官干物质转运量 / 籽粒产量 × 100%

磷转运量 = 吐丝后 15 d 各器官磷积累量 - 收获期相应器官磷积累量

磷转运率 = 器官磷转运量 / 吐丝后 15 d 相应器官磷积累量 × 100%

器官磷转运量对产量的贡献率 = 器官磷转运量 / 籽粒产量 × 100%

磷肥偏生产力(PPFP, kg·kg<sup>-1</sup>) = 施磷处理籽粒产量 / 施磷量

磷肥吸收效率(PAE, kg·kg<sup>-1</sup>) = (施磷肥区的磷素吸收量 - 不施磷肥区的磷素吸收量) / 施磷肥量

磷肥利用效率(PUE, kg·kg<sup>-1</sup>) = (施磷区籽粒产量 - 不施磷区籽粒产量) / 施磷区地上部分植株玉米磷积累量

### 1.6 数据处理

采用 Microsoft Excel 2003 和 DPS 9.05 软件进行数据处理和统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 施磷深度对春玉米产量及产量构成因素的影响

由表 1 可见,各处理春玉米穗粒数以 T12 最高, T6 次之, T24 最低, T24 与其他处理之间差异达到极显著水平,其他处理之间差异均不显著。千粒重总体表现为 T12 > T6 > T18 > T24 > CK, T12 与其他处理间差异均达到了显著水平,其中与 CK、T24 之间的差异达到了极显著水平。各处理春玉米产量表现也以 T12 最高,与其他处理间差异均达到了显著水平,其中与 CK、T24 之间的差异达到了极显著水平,变化规律与千粒重变化规律基本一致,说明 12cm 是最佳施磷深度,千粒重的增加是各施磷深度处理产量高于 CK 的主要原因。

2.2 施磷深度对春玉米单株干物质积累量的影响

由图 1 可见,各生育时期春玉米单株干物质积累量大喇叭口期和吐丝期均表现为 T6 > T12 > T18 > T24 > CK,其中吐丝期各施磷深度处理与 CK 之间的差异均达到了显著水平,各施磷深度处理间差异不显著,乳熟期和完熟期各处理春玉米单株干物质积累量与吐丝期变化规律存在差异,表现为 T12 > T6 > T18 > T24 > CK,各施磷深度处理与 CK 之间的差异均达到了显著水平,施磷深度处理间 T12 乳熟期和完熟期分别较 T6 高 1.69% 和 5.83%,生育后期仍然保持较高的干物质积累量,也说明了 T12 处理春玉米后期干物质生产能力更强。

2.3 施磷深度对春玉米各器官干物质转移量、转移率和对籽粒的贡献率的影响

由表 2 可见,各处理春玉米叶及茎鞘的干物质转运量均表现为 T6 > T12 > T18 > T24 > CK,且处理之间的差异均达到了显著水平,转运率的变化规律与转运量存在差异,叶的转运率以 T6 最高,T18 次之,CK 最低,茎鞘的转运率以 T6 最高,T12 次之,CK 最低,受干物质转运量的影响,干物质转运量对籽粒

的贡献率,叶及茎鞘均以 CK 最低,不同施磷深度处理间叶及茎鞘均以 T6 最大,T12 次之,T24 最小。各处理春玉米雌穗花后干物质积累量和积累总量均以 T12 最高,CK 最低,T12 与其他处理之间的差异均达到了显著水平。

表 1 施磷深度对春玉米产量及产量构成的影响

Table 1 Effects of phosphorus placement depths on grain yield and its components of spring maize

处理 Treatment	穗粒数 Kernel number (No./ear)	千粒重 100-grain weight /g	产量 Actual yield /(g·株 <sup>-1</sup> )	增产率 Increase rate /%
CK	531.60abAB	319.88cB	170.00dC	—
T6	540.00abAB	353.88bA	191.07AB	12.43
T12	551.60aA	360.94aA	199.07aA	17.12
T18	538.80abAB	349.65bA	187.60bcAB	10.82
T24	519.00bB	339.65bAB	176.27cdBC	3.71

注:同列不同小、大写字母分别表示相同部位不同处理间差异显著 ( $P < 0.05$ ) 和极显著 ( $P < 0.01$ ),下同。

Note: Different small or capital letters in the same column meant significant difference among treatments at 0.05 and 0.01 levels, respectively, and hereinafter.

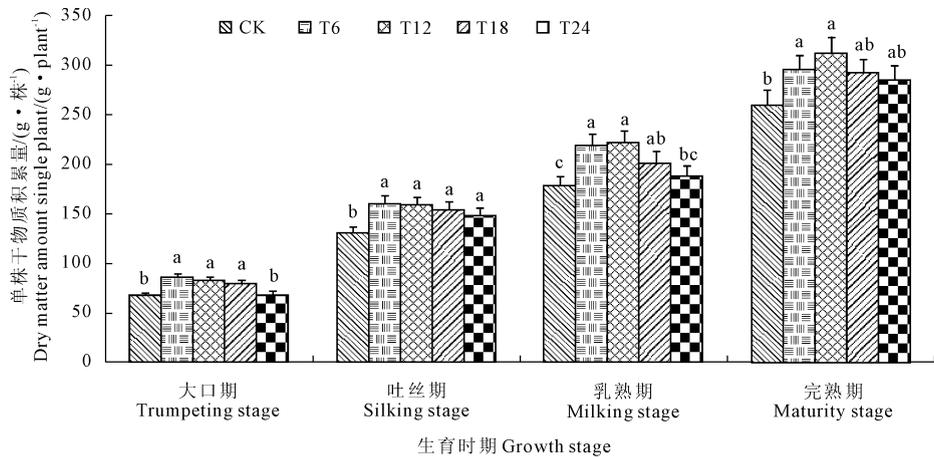


图 1 施磷深度下春玉米各时期单株干物质积累量

Fig.1 Single column dry matter accumulation of each period

表 2 各施磷深度春玉米各器官干物质转移量及对籽粒的贡献

Table 2 The amounts of transfer, transfer ratio and contribution ratio of dry matters in spring maize

处理 Treatment	叶 Leaf			茎鞘 Stem + sheath			花后积累量 Amount of accumulation after flowering/g	总积累量 Total amount of accumulation /g
	转运量 Amount of transfer /g	转运率 Transfer ratio /%	贡献率 Contribution ratio /%	转运量 Amount of transfer /g	转运率 Transfer ratio /%	贡献率 Contribution ratio /%		
CK	8.33e	21.70	5.70	8.69d	12.53	5.95	200.16c	263.85c
T6	16.48a	33.24	9.99	16.88a	19.49	10.23	210.71b	296.76b
T12	14.07b	28.62	8.18	13.55b	16.14	7.88	229.99a	312.13a
T18	12.98c	30.08	7.89	12.21c	15.56	7.42	217.62b	295.11b
T24	11.19d	25.53	7.41	4.09e	6.05	2.70	212.69bc	276.29c

## 2.4 施磷深度对春玉米磷含量的影响

由表 3 可见,各处理春玉米大喇叭口期叶及茎鞘磷含量均以 T12 最高,CK 最低,二者之间的差异均达显著水平,吐丝期各器官变化规律与大喇叭口期一致,但总体叶磷含量高于大喇叭口期,茎鞘磷含量低于大喇叭口期,穗部营养体磷含量变化规律不明显,以 T24 最高,T18 次之,T6 最低,其中 T6 与前二者之间的差异均达到了显著水平,T24 与 T18 之

间的差异不显著,乳熟期和完熟期叶磷含量以 T12 最大,T18 次之,CK 最小,三者之间的差异均达到显著水平,茎鞘以 T12 最大,T6 次之,CK 最小,三者之间的差异也达到了显著水平,穗部营养体总体表现为 T24 > T18 > T12 > T6 > CK,籽粒磷含量变化规律不明显,乳熟期以 CK 最高,完熟期以 T24 最高,各器官磷含量总体表现为乳熟期高于完熟期。

表 3 春玉米不同器官磷含量的动态变化/%

Table 3 Contents of P in different organs at different growth stages of spring maize

器官 Organ	处理 Treatment	大喇叭口期 Trumpeting stage	吐丝期 Silking stage	乳熟期 Milking stage	完熟期 Maturity stage
叶 Leaf	CK	0.688a	0.723d	0.572c	0.354c
	T6	0.699a	0.754cd	0.623b	0.362c
	T12	0.707a	0.828a	0.692a	0.426a
	T18	0.705a	0.798ab	0.646b	0.398b
	T24	0.701a	0.772bc	0.632b	0.394b
茎鞘 Stem and Sheath	CK	0.508c	0.426d	0.368d	0.251c
	T6	0.650a	0.532ab	0.472b	0.321b
	T12	0.652a	0.554a	0.503a	0.353a
	T18	0.630a	0.514b	0.467b	0.318b
	T24	0.560b	0.474c	0.441c	0.257c
穗部营养体 Bracteal leaf and Ear axis	CK	—	0.851ab	0.294d	0.225c
	T6	—	0.729c	0.299cd	0.241b
	T12	—	0.813b	0.310e	0.242b
	T18	—	0.862a	0.337b	0.249ab
	T24	—	0.886a	0.359a	0.258a
籽粒 Seed	CK	—	—	0.792a	0.466b
	T6	—	—	0.682c	0.483b
	T12	—	—	0.697bc	0.489b
	T18	—	—	0.707bc	0.517a
	T24	—	—	0.721b	0.526a

## 2.5 施磷深度对春玉米磷积累量的影响

由表 4 可见,随着生育期的推移,各处理春玉米叶及茎鞘磷积累量均呈先升后降的趋势,其中尤以吐丝期最高。不同处理之间存在差异,大喇叭口期以 T6 最高,与其他处理之间的差异均达到显著水平,吐丝期以 T12 最高,除与 T6 之间的差异不显著外,与其他处理之间的差异均达到了显著水平,茎鞘磷积累量变化规律与叶不同,各生育时期均以 T12 最高,吐丝期除与 T6 之间的差异不显著外,与其他处理之间的差异均达到了显著水平。穗部营养体磷积累量随着生育期的推移而逐渐降低,各处理均以 T12 最高。籽粒磷积累量乳熟期和完熟期均以 T12 最高,其中乳熟期 T12 与 T6 之间的差异不显著,完

熟期二者之间的差异达到了显著水平,说明 T12 处理更有利于春玉米籽粒磷的积累。

## 2.6 施磷深度对春玉米磷转运的影响

由表 5 可见,各处理春玉米叶及茎鞘磷转运量均以 T6 最高,T12 次之,CK 最低,其中后者与前二者之间的差异均达到了显著水平,前二者之间的差异不显著;穗部营养体磷转运量与叶和茎鞘不同,以 T24 最高,T18 次之,CK 最低,其中后者与前二者之间的差异均达到了显著水平,前二者之间的差异不显著;磷转运率各器官均以 T6 最高;转运对籽粒贡献率,叶及茎鞘均以 T6 最高,T12 次之,穗部营养体以 T24 最高,T12 次之。

表 4 春玉米不同器官磷积累量的动态变化/(kg·hm<sup>-2</sup>)

Table 4 Accumulation of P in different organs at different growth stages of spring maize

器官 Organ	处理 Treatment	大喇叭口期 Trumpeting stage	吐丝期 Silking stage	乳熟期 Milking stage	完熟期 Maturity stage
叶 Leaf	CK	13.624c	20.821d	14.021b	7.987c
	T6	23.565a	29.388ab	19.069a	8.983bc
	T12	20.638b	30.550a	18.710a	11.226a
	T18	19.337b	26.405bc	17.130a	9.897ab
	T24	15.866c	25.361c	16.330ab	9.650b
茎鞘 Stem and Sheath	CK	14.026c	21.867c	16.917b	11.282c
	T6	19.748a	34.069a	24.642a	16.553ab
	T12	20.860a	34.430a	24.988a	18.371a
	T18	19.072a	29.867b	22.979a	15.598b
	T24	15.929b	23.679c	21.395a	12.074c
穗部营养体 Bracteal leaf and Ear axis	CK	—	11.620b	7.721c	4.580c
	T6	—	15.669a	8.270b	5.228c
	T12	—	17.026a	8.333b	6.272a
	T18	—	16.620a	8.772a	5.812b
	T24	—	16.642a	8.831a	5.629b
籽粒 Seed	CK	—	—	28.616b	51.010c
	T6	—	—	36.875a	59.821b
	T12	—	—	37.592a	64.054a
	T18	—	—	33.949ab	63.768a
	T24	—	—	33.167ab	59.561ab

表 5 各施磷深度对春玉米各器官磷转运的影响

Table 5 Effects of the phosphorus depths on P translocation of spring maize

处理 Treatment	叶 Leaf			茎鞘 Stem and sheath			穗部营养体 Bracteal leaf and Ear axis		
	转运量 Amount of transfer /(kg·hm <sup>-2</sup> )	转运率 Transfer ratio /%	贡献率 Contributi on ratio /%	转运量 Amount of transfer /(kg·hm <sup>-2</sup> )	转运率 Transfer ratio /%	贡献率 Contributi on ratio /%	转运量 Amount of transfer /(kg·hm <sup>-2</sup> )	转运率 Transfer ratio /%	贡献率 Contributi on ratio /%
CK	12.83c	61.64	25.16	10.73d	48.41	21.03	7.04c	60.59	13.80
T6	20.40a	69.43	34.11	17.75a	51.41	29.68	9.89b	65.43	16.54
T12	19.32a	63.25	30.65	16.28a	46.64	25.81	10.75a	63.16	17.06
T18	16.51b	62.52	25.89	14.24b	47.05	22.34	10.81a	65.03	16.95
T24	15.71b	61.95	26.38	11.76c	49.01	19.75	11.01a	66.18	18.49

2.7 施磷深度对春玉米磷肥吸收与利用的影响

由表 6 可见,各施磷深度处理春玉米的磷肥偏生产力、吸收效率和利用效率均以 T12 最高,T18 次之,T24 最低,且三者之间的差异均达到了显著水平,其中磷肥利用效率 T12 分别是 T18 和 T24 的 1.37 倍和 3.70 倍,说明 12 cm 以下土层随着磷肥施用深度增加,春玉米的磷肥吸收和利用效率显著降低,其中磷肥利用效率降低的尤为明显。

3 讨论

有关磷肥施用深度对玉米产量的影响,国内外学者所得结论不尽一致,田霄鸿等<sup>[14]</sup>,Schwab G J

等<sup>[15]</sup>指出,磷肥集中深施可以显著提高玉米的籽粒产量,而 Bordoli J M<sup>[16]</sup>等表明,磷肥深施可提高植株

表 6 各施磷深度对春玉米磷肥吸收与利用的影响/(kg·kg<sup>-1</sup>)

Table 6 Effects of the phosphorus depths on phosphorus absorption and utilization efficiency of spring maize

处理 Treatment	偏生产力 PPFP	吸收效率 PAE	利用效率 PUE
T6	102.84b	0.96bc	11.55b
T12	107.55a	1.20a	16.26a
T18	103.12b	1.00b	11.83b
T24	94.43c	0.89c	4.39c

对磷的吸收,对产量没有显著影响。本研究表明,施磷深度为 12 cm 处理的春玉米产量显著高于施磷深度为 6 cm 和 18 cm 处理。生产中常规施磷深度在 6 cm 左右,说明磷肥适度深施有助于产量的提高,但施磷过深产量较常规施磷深度有所下降。不同学者研究结果存在差异的原因可能与试验地土壤磷含量及垂直分布存在差异有关。

施用磷肥能增加玉米茎、叶、籽粒和整株干物质积累量<sup>[17-18]</sup>。本研究发现,磷肥适当深施可提高春玉米后期干物质积累能力,T12 在乳熟期和完熟期干物质积累分别较 T6 高 1.69% 和 5.83%。赵丽亚等研究不同施磷深度对夏玉米养分吸收的影响指出,磷肥深施(15 cm)可显著增加植株磷素积累量,本研究中,T12 各生育时期茎和叶片磷含量均最高,且各器官磷积累量高于其他处理,说明磷肥下移可促进植株磷积累,但施磷过深,不利于植株对磷素养分的吸收。这可能因为磷肥移动性较差,浅施造成表层土壤磷素富集,且不利于根系下扎,生育后期浅层根系受环境条件影响较大<sup>[19]</sup>,衰老较快,不利于对磷素养分吸收。适宜的施磷深度,磷素养分供需的匹配性好,下层根量增加,且生育后期活力较强,对磷的吸收能力增强。

籽粒中磷来源于两个方面,一是吐丝后根系吸收养分的直接供应,另一个方面是营养器官暂存养分的再转移,赵丽亚<sup>[20]</sup>指出,磷肥集中深施 15 cm 深度处理叶片、茎鞘、籽粒和其它部位中的磷素积累量比磷肥浅施 5 cm 深度处理分别高 16.9%、19.7%、35.7% 和 14.0%,范秀艳等<sup>[21]</sup>研究也指出,分层施磷(8 cm 深度处施磷总量的 1/2,16 cm 深度处施磷总量的 1/2)较常规施磷处理(8 cm 施磷深度)的叶和茎鞘的磷素积累量分别高 8.7%、6.5%,其余部位磷素积累量差异也较明显。本研究中,磷肥下移处理叶和茎鞘的转运量及转运对籽粒的贡献率均有所下降。

提高肥料利用率,是玉米生产实现节本增效的主要措施之一。赵丽亚等<sup>[19]</sup>通过 2 个施磷深度的试验表明,磷肥深施较常规施磷可提高玉米磷效率。本研究表明,随着施磷深度的增加春玉米各器官磷含量总体呈现先升高后降低的趋势,均以 12 cm 处理最高。而各器官磷的转运量、转运率及对籽粒贡献率随着施磷深度的增加总体呈下降趋势。磷肥吸收与利用效率随施磷深度的增加呈先升后降的趋势,以 12 cm 处理下最高。表明磷肥适度深施,可提高磷肥吸收与利用效率。

磷肥下移能促进春玉米物质生产,提高玉米产量和磷肥利用效率。在多年小动力机械作业的玉米

产区,磷肥适度深施是实现玉米高产磷高效养分管理的有效途径。

#### 参 考 文 献:

- [1] 李晓林,陈新平,崔俊霞,等.不同水分条件下表层施磷对小麦吸收下层土壤养分的影响[J].植物营养与肥料学报,1995,1(2):40-45.
- [2] 鲁如坤,时正元,钱承梁.磷在土壤中有有效性的衰减[J].土壤学报,2000,37(3):323-329.
- [3] 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.
- [4] 王空军,郑洪建,刘开昌,等.我国玉米品种更替过程中根系时空分布特性的演变[J].植物生态学报,2001,25(4):472-475.
- [5] 张玉芹,杨恒山,高聚林,等.超高产春玉米根系特征[J].作物学报,2010,37(4):735-743.
- [6] Jackson R B, Sperry J S, Dawson T E. Root water uptake and transport: using physiological processes in global predictions[J]. Trends Plant Sci, 2000,11(5):482-488.
- [7] 张李蒙.关于磷肥利用率及其提高的探讨[J].现代化农业,1997,(7):6-8.
- [8] 张福锁.协调作物高产与环境保护的养分资源综合管理技术研究与应用[M].北京:中国农业大学出版社,2008.
- [9] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2000:257-270.
- [10] 杨恒山,张玉芹,徐寿军,等.超高产春玉米干物质及养分积累与转运特征[J].植物营养与肥料学报,2012,18(2):315-323.
- [11] 王小春,杨文钰,邓小燕,等.玉米/大豆和玉米/甘薯模式下玉米干物质积累与分配差异及氮肥的调控效应[J].植物营养与肥料学报,2015,21(1):46-57.
- [12] 刘占军,谢桂贵,张 宽,等.有机肥磷替代化肥对玉米干物质积累和磷素吸收的影响[J].玉米科学,2011,19(2):123-128.
- [13] 王小彬,蔡典雄,张镜清,等.旱地玉米 N 吸收及其 N 肥利用率研究[J].中国农业科学,2001,34(2):179-186.
- [14] 田霄鸿,聂 刚,李生秀.不同土壤层次供应水分和养分对玉米幼苗生长和吸收养分的影响[J].土壤通报,2002,33(4):263-267.
- [15] Schwab G J, Whitney D A, Kilgore G L, et al. Tillage and phosphorus management effects on crop production in soils with phosphorus stratification[J]. Agronomy Journal,2006,98:430-435.
- [16] Borges R, Mallarino A P. Deep handling phosphorus and potassium fertilizers for coin produced inder ridge tillage[J]. Soil Science Society of American Journal,2001,65:376-384.
- [17] 李秀芳,李淑文,和 亮,等.水肥配合对夏玉米养分吸收及根系活性的影响[J].水土保持学报,2011,25(1):188-191.
- [18] 王生录.黄土高原旱地磷肥残效及利用率研究[J].水土保持研究,2003,10(1):71-75.
- [19] 段刚强,杨恒山,张玉芹,等.提高玉米磷肥利用率的研究进展[J].中国农学通报,2015,31(21):24-29.
- [20] 赵丽亚,杨春收,王 群,等.磷肥施用深度对夏玉米产量和养分吸收的影响[J].中国农业科学,2010,43(23):4805-4813.
- [21] 范秀艳,杨恒山,高聚林,等.施磷方式对高产春玉米磷素吸收与磷肥利用的影响[J].植物营养与肥料学报,2013,19(2):312-320.