

不同栽培方式下春玉米养分累积与转运特征

王艺霖^{1, 2}, 张水梅^{2#}, 袁静超², 程 松², 梁 尧²,

刘松涛², 任 军², 蔡红光², 刘剑钊^{2*}

(1. 吉林农业大学资源与环境学院, 吉林 长春 130118; 2. 吉林省农业科学院农业资源与环境研究所, 农业农村部东北植物营养与农业环境重点实验室, 吉林 长春 130033)

摘 要: 通过两年定位试验, 研究不同栽培方式下春玉米产量、干物质累积、养分累积与转运特征, 为春玉米的养分高效利用提供理论依据。2012 ~ 2013 年在吉林省农安县靠山镇进行田间试验, 设置 3 种栽培模式, 分别为农户模式 (TRA)、优化栽培模式 1 (OPT-1)、优化栽培模式 2 (OPT-2), 供试品种均为利民 33, 在玉米 6 展叶 (V6)、12 展叶 (V12)、开花 (R1)、灌浆 (R3)、成熟 (R6) 5 个生育时期测定群体氮、磷、钾养分吸收动态, 并测定产量构成。结果表明: 在 3 种栽培模式中, 两年产量的平均值表现为 OPT-2>OPT-1>TRA, 与 TRA 处理相比, OPT-2 处理下的产量两年间分别增加了 24.6% 和 24.2%; OPT-1 和 OPT-2 处理下两年的收获穗数平均值分别增加 65.4% 和 81.5%。OPT-2 处理下的干物质累积在整个生育进程中均显著高于 OPT-1 和 TRA 处理, 至成熟期, OPT-2 处理下干物质累积量较 OPT-1 处理高 10.0%, 较 TRA 处理高 24.2%; 从 6 展叶期至成熟期, 各处理下植株氮素、磷素与钾素累积量逐渐增加, 累积速率均在开花期达到最大, 至成熟期, OPT-2 处理下整株的氮、磷、钾累积量较 OPT-1 和 TRA 处理分别增加了 12.8% 和 39.2%、10.4% 和 26.1%、12.8% 和 27.5%, 且各处理间差异显著。3 种栽培模式下, 开花期前, OPT-2 处理下磷、钾素转运量、贡献率比 OPT-1 处理高; 开花期后, OPT-2 处理下氮累积量及贡献率比 OPT-1 处理高; 与 OPT-1 处理相比较, OPT-2 处理两年的氮、磷、钾肥偏生产力平均增加了 10.8%。因此, 在合理提升密度的基础上, 优化化肥用量和施肥时期, 可以实现东北中部春玉米氮、磷、钾养分的高效利用, 保证玉米高产的持续性。

关键词: 春玉米; 籽粒产量; 养分累积与转运

玉米是世界三大粮食作物之一, 在世界谷物类作物中, 玉米的种植范围和总产量均居第三位^[1]。我国具有全球最广的玉米种植面积^[2], 是我国第一大作物, 粮食增产的主力军^[3]。玉米持续高产对于保障国家粮食安全至关重要。在玉米高产高效生产技术方面, 前人最初多集中于对增加密度、优化施肥、改良耕作等独立因素的研究, 随着生产需求的变化, 近年来逐渐过渡到以综合养分管理方式或栽培模式为主的综合性研究。刘正等^[4]研究表

明, 通过增加种植密度, 优化氮肥施用量, 可以显著增加夏玉米整个生育期干物质和氮、磷、钾养分累积量, 从而实现增产、增效的目标。张秀芝等^[5]研究表明, 在改良耕作方式的基础上适当地深施化肥和有机肥, 可有效增加氮、磷、钾养分在植株的累积量, 提高氮素在籽粒中的累积比例, 从而达到增产增收的目的。袁静超等^[6]通过合理增加种植密度、优化化肥用量和施用时期、增施有机肥等措施, 实现了春玉米产量和效率的协同提高。靳立斌等^[7]研究表明, 通过优化氮肥施用量及施肥时期, 可以增加氮素利用效率, 提高氮素积累量和氮肥偏生产力, 实现夏玉米高产高效生产。综上所述, 本研究在东北中部雨养区, 通过两年田间定位试验, 监测综合优化种植密度、肥料施用的情况下, 对春玉米群体的产量和氮、磷、钾养分累积规律及转运特征进行研究, 以期当地春玉米高产高效生产提供理论指导。

收稿日期: 2021-03-29; 录用日期: 2021-07-23

基金项目: 吉林农业科技创新工程 (CXGC2021ZD001); 国家现代农业产业技术体系 (CARS-07-G-6); 吉林省科技计划项目 (20200403167SF)。

作者简介: 王艺霖 (1997-), 在读硕士, 主要从事养分资源管理研究。E-mail: wangyilin3028@163.com。张水梅 (1982-), 研究实习员, 专科, 主要从事土壤培肥研究, E-mail: 1072023477@qq.com。张水梅与王艺霖为共同第一作者。

通讯作者: 刘剑钊, E-mail: justin0117@yeah.net。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2012 ~ 2013 年在吉林省农安县靠山镇 (44° 47' 47" N, 125° 40' 48" E, 海拔 154 m) 进行。该地区属于松嫩平原黑土带玉米连作区。年均降水量 425 mm, 无霜期平均 145 d, 年均积温 2800 °C。土壤类型为中层黑土, 耕层土壤主要性状为: 有机质 2.6%、碱解氮 141.9 mg/kg、有效磷 21.4 mg/kg、速效钾 129.0 mg/kg、pH 值 7.0。试验田为雨养, 全年无灌溉。2012、2013 年生育时期降水量、 $\geq 10^{\circ}\text{C}$ 有效积温和日照时数分别为 453.6 和 450.1 mm、3019.2 和 3054.7 °C、1024.4 和 1145.3 h (图 1)。

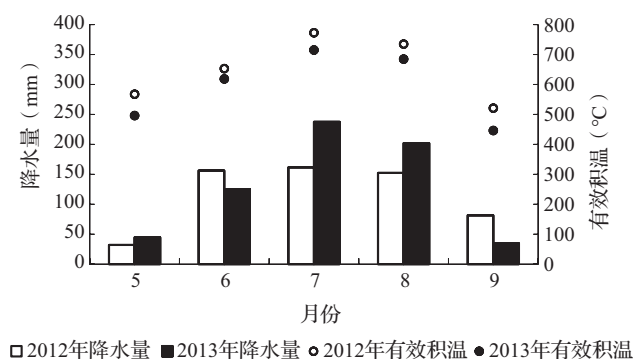


图 1 玉米生育期降水量及有效积温分布

1.2 试验设计

试验设 3 种栽培模式, 均采用大区种植, 面积 400 m², 每区重复 3 次, 随机区组排列。具体设计如下:

(1) 农户模式 (TRA): 均匀垄, 垄宽 60 cm, 清除根茬; 播种密度 5.0 万株/hm²; 氮 (N)、磷 (P₂O₅)、钾 (K₂O) 的施用量分别为 225、82.5、67.5 kg/hm², 一次性底肥施入。

(2) 优化栽培模式 1 (OPT-1): 均匀垄, 垄宽 60 cm; 拔节期垄沟深松 20 cm, 根茬还田, 施用优质农肥 40 m³/hm²; 播种密度 8.0 万株/hm²; 氮 (N)、磷 (P₂O₅)、钾 (K₂O) 的施用量分别为 330、150、150 kg/hm²; 其中 30% 氮肥和全部磷、钾肥作底肥施入, 70% 氮肥在拔节期追施, 有机肥在灭茬前作底肥施入。

(3) 优化栽培模式 2 (OPT-2): 均匀垄, 垄宽 60 cm; 拔节期垄沟深松 20 cm, 根茬还田, 施用优质农肥 40 m³/hm²; 播种密度 9.0 万株/hm², 氮 (N)、磷 (P₂O₅)、钾 (K₂O) 的施用量分别为 330、150、150 kg/hm²。全部有机肥、30% 氮肥和

60% 磷肥、60% 钾肥在灭茬前作底肥深施, 5% 氮肥和 10% 磷肥、10% 钾肥作种肥施用, 45% 氮肥于拔节期追施, 20% 氮肥和 30% 磷肥、30% 钾肥在抽雄期前追施。

供试品种均为利民 33 (LM33)。试验所用氮肥为尿素 (N 46%)、磷肥为磷酸二铵 (18-46-0)、钾肥为硫酸钾 (K₂O 50%)。试验于 5 月上旬播种, 10 月上旬收获, 其他管理方式均同一般大田。

1.3 测定项目与方法

在玉米播种前采集耕层土壤样品, 采用常规方法测定土壤养分。2013 年在玉米 6 展叶 (V6)、12 展叶 (V12)、开花 (R1)、灌浆 (R3)、成熟 (R6) 5 个生育时期于每个小区选取有代表性的植株 3 株, 将叶、茎 (鞘)、籽粒、穗轴分开, 烘干, 粉碎, 测定各器官氮、磷、钾含量, 其中全氮采用凯氏定氮法, 全磷采用钼锑抗比色法, 全钾采用火焰光度法。2012、2013 年收获时全区测产, 并以玉米籽粒含水量在 14% 时折算, 另取 10 穗标准穗考种, 调查穗粒数和千粒重等产量构成。

1.4 有关指标计算^[8-10]

开花期氮 (磷、钾) 转运量 (kg/hm²) = 开花期营养器官氮 (磷、钾) 累积量 - 成熟期营养器官氮 (磷、钾) 累积量;

开花期氮 (磷、钾) 转运效率 (%) = [开花期营养器官氮 (磷、钾) 累积量 - 成熟期营养器官氮 (磷、钾) 累积量] / 开花期营养器官氮 (磷、钾) 累积量 × 100;

花前氮 (磷、钾) 转运对籽粒氮 (磷、钾) 贡献率 (%) = [开花期营养器官氮 (磷、钾) 累积量 - 成熟期营养器官氮 (磷、钾) 累积量] / 成熟期籽粒氮 (磷、钾) 累积量 × 100;

花后氮 (磷、钾) 累积量 (kg/hm²) = 成熟期氮 (磷、钾) 累积量 - 开花期氮 (磷、钾) 累积量;

花后氮 (磷、钾) 转运对籽粒氮 (磷、钾) 贡献率 (%) = 100 - 花前氮 (磷、钾) 转运对籽粒氮 (磷、钾) 贡献率;

偏生产力 (kg/kg) = 玉米产量 / 施肥量。

1.5 数据分析与计算方法

采用 Excel 2010 对数据进行处理和作图, 采用 SPSS 23.0 进行方差分析和多重比较。

2 结果与分析

2.1 不同栽培模式下籽粒产量及其构成

两年定位试验结果表明, 与 TRA 处理相比,

OPT-1 和 OPT-2 处理下产量均显著增加 (表 1), 其中, 2012 年两个处理比 TRA 处理分别增加 12.8% 和 24.6%, 2013 年两个处理较 TRA 处理分别增加了 11.6% 和 24.2%。在产量构成中, OPT-1 和 OPT-2 处理下两年的收获穗数分别比 TRA 处理增加 65.4% 和 81.5%, 且处理间差异显著, 而 OPT-1 和 OPT-2 处理下的穗粒数和百粒重较 TRA 处理明显降低, 降幅分别为 17.5%、40.0% 和 16.6%、12.0%, 表

明收获穗数的增加是产量增加的主要原因。方差分析结果表明, 年份和栽培模式对收获穗数、产量和生物量均产生了极显著影响, 年份和栽培模式的交互作用对百粒重造成了极显著影响, 对收获穗数也产生了显著影响, 而栽培模式对于收获穗数、穗粒数、百粒重、产量和生物量均产生了极显著影响, 说明合理提升密度可以实现产量的提升。

表 1 不同栽培模式下籽粒产量及其构成因素

年份	栽培模式	收获穗数 (个/hm ²)	穗粒数	百粒重 (g)	产量 (kg/hm ²)	生物量 (kg/hm ²)
2012	TRA	40952.4a	653.2c	37.2b	9936.2a	20764.6
	OPT-1	75066.3b	549.4b	30.8a	11211.0b	23451.4
	OPT-2	80769.3b	475.7a	31.7a	12377.5a	25787.8
2013	TRA	50714.3a	612.2b	36.1b	10521.3a	21904.5
	OPT-1	76581.2b	527.3ab	31.8a	11744.8b	24588.6
	OPT-2	85587.0c	455.0a	32.6a	13067.2c	27403.3
变异来源						
年份		**	*	NS	**	**
栽培模式		**	**	**	**	**
年份 × 栽培模式		*	NS	**	NS	NS

注: OPT-1——优化栽培模式 1; OPT-2——优化栽培模式 2; TRA——农户模式。同列数据后不同小写字母表示同一年份处理间差异达 5% 显著水平。NS 代表不显著, * 代表差异显著 ($P<0.05$), ** 代表差异极显著 ($P<0.01$)。下同。

2.2 不同栽培模式下干物质累积特征

3 种栽培模式下植株干物质累积量均随着玉米生育进程而不断增加 (图 2)。其中, OPT-2 处理下的干物质累积在整个生育进程中均显著高于 OPT-1 处理; 在开花期前, OPT-2 处理下干物质累积量较 OPT-1 高 21.2%, 较 TRA 处理高 62.1%; 在开花期后, OPT-2 处理下干物质累积量较 OPT-1 处理高 11.4%, 较 TRA 处理高 32.2%; 至成熟期, OPT-2 处理下干物质累积量较 OPT-1 处理高 10%, 较 TRA 处理高 24.2%, OPT-2 处理显著提高了群体干物质的累积量, 是其增产的重要基础。各处理间干物质累积动态从 6 展叶期至成熟期, 随着生育进程的推进, 干物质大致呈现由快到慢的累积动态, 从 6 展叶期至开花期干物质累积较快, 随后进入缓慢增长期, OPT-2 处理在开花期前的干物质累积量显著高于 TRA 处理, 并且干物质累积速率较开花期后的干物质累积速率要高, 在开花期后累积量增长有所缓慢, 在开花期和成熟期, OPT-1 和 OPT-2 处理间无显著差异。

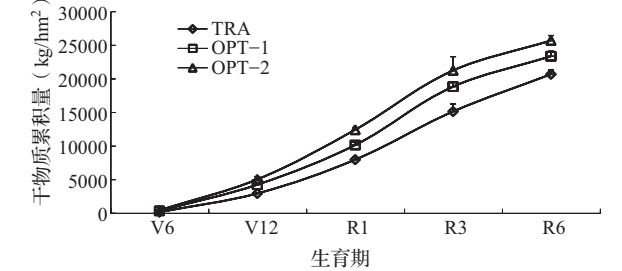


图 2 不同栽培模式下春玉米干物质累积动态

注: V6 为 6 展叶期, V12 为 12 展叶期, R1 为开花期, R3 为灌浆期, R6 为成熟期。下同。

2.3 不同栽培模式下氮、磷、钾养分吸收累积特征

与干物质累积规律相似, 从 6 展叶期至成熟期, 各处理下植株氮素累积量逐渐增加 (图 3), 累积速率在开花期达到最大。在开花期前, 氮素累积较快, 并且氮素累积速率显著高于开花期后的氮素累积速率, OPT-2 处理在开花期前的氮素累积量明显高于 OPT-1 和 TRA 处理, 但 OPT-2 处理下氮素吸收速率与 OPT-1 处理无显著差异。至成熟期,

OPT-2 和 OPT-1 处理氮素积累量显著高于 TRA 处理, 并随着生育进程差距逐渐增大, OPT-2 处理下整株氮素积累量较 OPT-1 处理增加了 12.8%, 较 TRA 增加了 39.2%。从分配比例来看, 在成熟期氮素分配比例以籽粒最大, 各处理间籽粒氮素分配

比例为 OPT-2>OPT-1>TRA, 在成熟期 OPT-2 和 OPT-1 处理籽粒的氮素分配比例分别为 67.2% 和 64.4%, 表明 OPT-2 和 OPT-1 处理成熟期籽粒中氮素积累量占全株氮素积累量的比例较大。

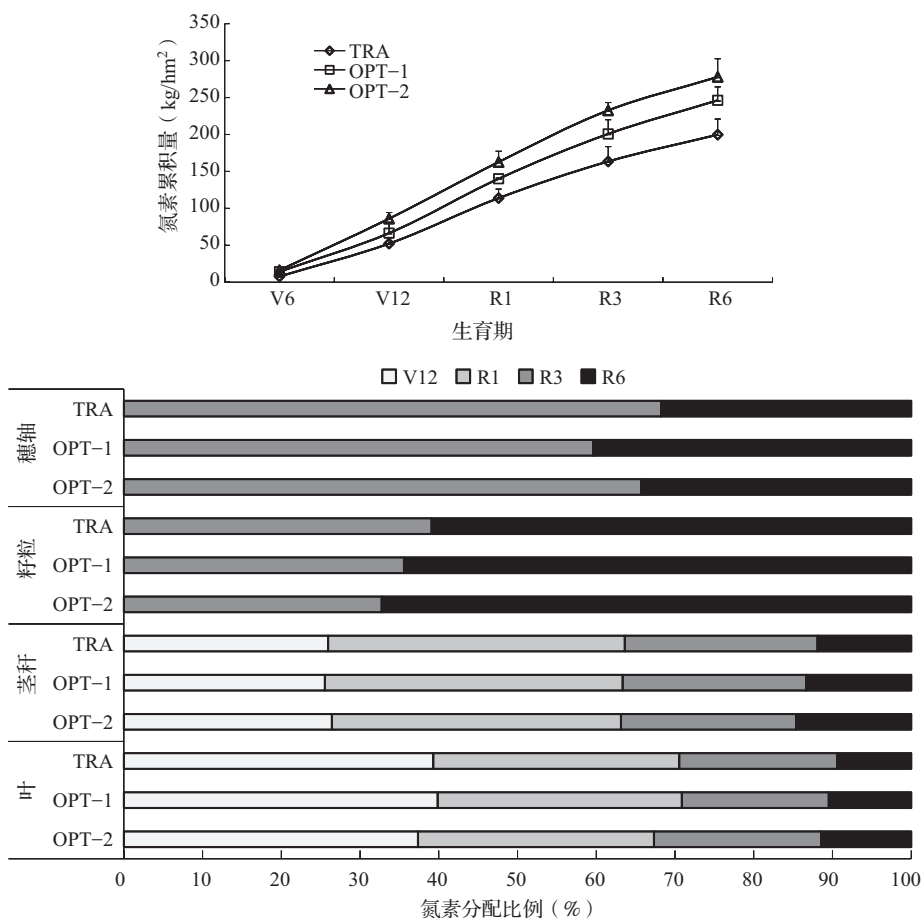


图3 不同栽培模式下春玉米不同生育时期氮素累积动态与分配比例

OPT-2 和 OPT-1 处理在 6 展叶期至成熟期的磷素积累量无显著差异, 但随着生育进程的推进各处理下磷素积累量差距逐渐增大, 并在开花期达到最大 (图 4)。OPT-2 处理在开花期前的磷素积累量显著高于 OPT-1 和 TRA 处理, 3 个处理下磷素积累速率均高于开花期后磷素积累速率。OPT-2 和 OPT-1 处理通过保持较高的磷素积累速率, 从而提高植株开花后的磷素积累量, 进而增加了籽粒养分积累。在成熟期, OPT-2 处理下整株全磷积累量较 OPT-1 处理增加 10.4%, 较 TRA 处理增加 26.1%, 且各处理间差异显著。从分配比例来看, 在成熟期 OPT-2 和 OPT-1 处理籽粒的磷素分配比例分别为 73.4% 和 69.3%, 与 TRA 处理相比, OPT-2 和 OPT-1 处理开花期至成熟期磷素积累量占整个植株

磷素积累总量比重的提高幅度达显著水平。

钾素积累量在整个生育期内呈现逐渐上升的趋势 (图 5), 3 个处理下的累积速率在 12 展叶期至开花期累积速率较快, 而至灌浆期后累积速率变慢。OPT-2 和 OPT-1 处理随着生育进程的推进, 各处理下钾素积累量差距逐渐增大, 并在开花期达到最大。OPT-2 处理下钾素积累量始终高于 OPT-1 处理, 至成熟期, 其钾素积累量较 OPT-1 处理高 12.8%, 较 TRA 处理高 27.5%, 且差异显著。从分配比例来看, 在成熟期钾素分配比例籽粒和穗轴占比较大, 在成熟期 OPT-2 和 OPT-1 处理籽粒和穗轴的钾素分配比例分别为 59.0% 和 58.7%、61.6% 和 63.0%。

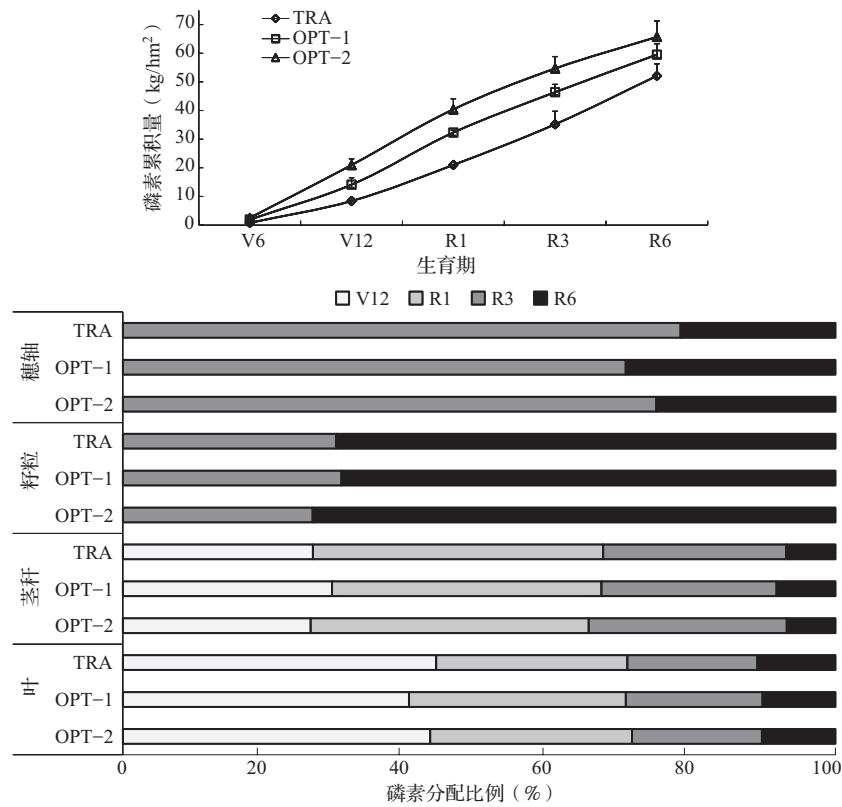


图 4 不同栽培模式下春玉米不同生育时期磷素累积动态与分配比例

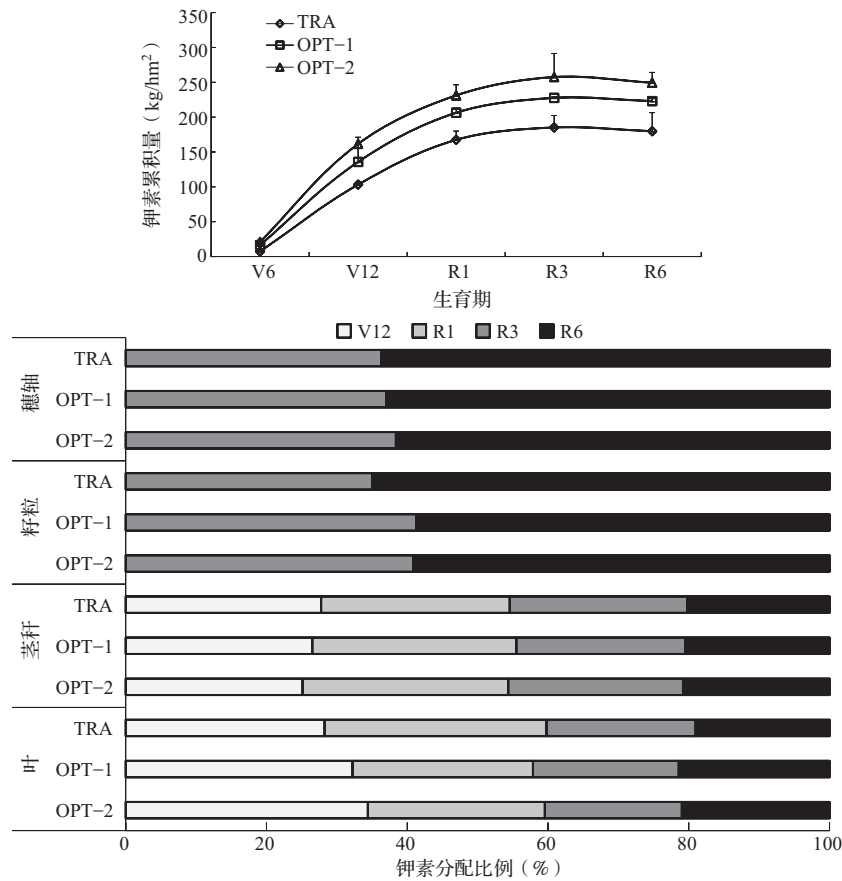


图 5 不同栽培模式下春玉米不同生育时期钾素累积动态与分配比例

2.4 不同栽培模式下养分转运及分配

从表 2 可知, 在开花期前, OPT-1 处理下的氮素转运量、转运率以及贡献率较 OPT-2 处理分别提高了 2.4%、18.2%、7.4%, 但处理间差异不显著, 较 TRA 提高了 55.1%、25.2%、17.0%; 在

开花期后, OPT-2 处理下氮素累积量及贡献率比 OPT-1 处理分别提高了 8.6% 和 3.9%, 但处理间差异不显著, TRA 处理的氮素累积对籽粒氮素累积贡献率比 OPT-2 处理提高了 4.2%, 比 OPT-1 处理提高了 8.3%。

表 2 不同栽培模式对春玉米开花期前后营养器官氮素转运及其对籽粒氮素累积的贡献

栽培模式	开花期前			开花期后	
	NR (kg/hm ²)	NRE (%)	NRCG (%)	NA (kg/hm ²)	NAC (%)
TRA	36.1a	31.7a	31.2a	85.9a	68.8a
OPT-1	56.0b	39.7a	36.5a	105.4b	63.5a
OPT-2	54.7b	33.6a	34.0a	114.5b	66.0a

注: NR——花前氮素转运量; NRE——花前氮素转运率; NRCG——花前氮素转运对籽粒氮素累积贡献率; NA——花后氮素累积量; NAC——氮素累积对籽粒氮素累积贡献率。

由表 3 可知, 在开花期前, OPT-2 处理下磷素转运量、转运率以及贡献率比 OPT-1 处理分别提高了 47.6%、18.0%、30.4%, 且处理间差异不显著, 转运率较 TRA 提高了 74.6%; 在开花期后,

OPT-1 处理磷素累积量及贡献率比 OPT-2 处理分别提高了 8.8% 和 23.5%, 处理间差异显著, TRA 处理下磷素累积量及贡献率比 OPT-2 处理提高了 24.4% 和 62.2%。

表 3 不同栽培模式对春玉米开花期前后营养器官磷素转运及其对籽粒磷素累积的贡献

栽培模式	开花期前			开花期后	
	PR (kg/hm ²)	PRE (%)	PRCG (%)	PA (kg/hm ²)	PAC (%)
TRA	7.2a	34.3a	19.2a	31.1a	80.8c
OPT-1	16.4b	50.8b	38.5b	27.2a	61.5b
OPT-2	24.2b	59.9b	50.2b	25.0a	49.8a

注: PR——花前磷素转运量; PRE——花前磷素转运率; PRCG——花前磷素转运对籽粒磷素累积贡献率; PA——花后磷素累积量; PAC——磷素累积对籽粒磷素累积贡献率。

由表 4 可知, 在开花期前, OPT-2 处理下钾素转运量、贡献率比 OPT-1 处理分别提高了 8.7%、2.8%, 较 TRA 提高了 26.7%、3.2%; 在开花期后, OPT-2

处理下钾素累积量比 OPT-1 和 TRA 处理分别提高了 9.0%、36.7%, OPT-1 处理的钾素累积对籽粒钾素累积贡献率比 OPT-2 处理高 70.3%, 且差异显著。

表 4 不同栽培模式对春玉米开花期前后营养器官钾素转运及其对籽粒钾素累积的贡献

栽培模式	开花期前			开花期后	
	KR (kg/hm ²)	KRE (%)	KRCG (%)	KA (kg/hm ²)	KAC (%)
TRA	35.6a	21.3a	93.3a	12.4a	6.7b
OPT-1	41.5a	20.1a	93.7a	16.7a	6.3b
OPT-2	45.1a	19.5a	96.3a	18.2a	3.7a

注: KR——花前钾素转运量; KRE——花前钾素转运率; KRCG——花前钾素转运对籽粒钾素累积贡献率; KA——花后钾素累积量; KAC——钾素累积对籽粒钾素累积贡献率。

综上所述,栽培模式影响玉米花前氮、磷、钾素转运量和转运率,花前氮、磷、钾素转运对籽粒氮、磷、钾素累积的贡献率,同时也显著影响花后氮、磷、钾素累积量以及氮、磷、钾素累积对籽粒氮、磷、钾素累积的贡献率。OPT-2 和 OPT-1 处理是通过提高花后植株氮、钾积累来增加籽粒养分积累量,OPT-2 和 OPT-1 处理下的氮、磷、钾素累积对籽粒氮、磷、钾素累积贡献率显著低于 TRA 处理,表明 TRA 处理主要通过增加花后植株体内氮、磷、钾养分转运来提高籽粒养分积累量。

2.5 不同栽培模式下氮、磷、钾肥偏生产力

由表 5 可知,在 2012 和 2013 年,3 种栽培

模式下氮、磷、钾肥偏生产力均以 OPT-1 处理最低,与 OPT-1 处理相比,OPT-2 和 TRA 处理下氮、磷、钾肥偏生产力显著提高,OPT-2 处理比 OPT-1 处理两年的氮、磷、钾肥偏生产力平均增加了 10.8%,TRA 处理比 OPT-1 处理两年的氮、磷、钾肥偏生产力分别增加了 30.7%、61.8% 和 98.1%,且均达显著水平。与 TRA 处理相比,OPT-2 和 OPT-1 处理均未提升玉米的氮、磷、钾肥偏生产力,因为 OPT-1 和 OPT-2 处理下肥料用量较高,存在养分报酬递减的情况,导致其养分综合利用效率没有提高。

表 5 不同栽培模式下春玉米氮、磷、钾肥偏生产力

(kg/kg)

年份	栽培模式	氮肥偏生产力	磷肥偏生产力	钾肥偏生产力
2012	TRA	44.2b	120.4c	147.2c
	OPT-1	34.0a	74.7b	74.7b
	OPT-2	37.5a	82.5a	82.5a
2013	TRA	46.8c	127.5c	155.9c
	OPT-1	35.6a	78.3a	78.3a
	OPT-2	39.6b	87.1b	87.1b

3 讨论

本研究通过设置 3 种不同栽培管理方式,研究了其对玉米产量构成、养分累积与转运特征的影响。研究表明,当密度从 5.0 万株/hm² 增加到 9.0 万株/hm² 时,结合优化施肥管理,产量可增加 24.4%。这表明增加密度是增加产量的重要方式^[11-12]。王宏庭等^[13]研究表明,在施肥量相同的条件下,密度由 4.5 万株/hm² 增加至 6.0 万株/hm²,产量增加 19.7%,表明适当增加密度可以实现增产。在玉米产量构成因子方面,本研究 OPT-1 与 OPT-2 处理下产量和收获穗数均显著高于 TRA 处理,OPT-1 和 OPT-2 处理下收获穗数分别比 TRA 处理增加 65.4% 和 81.5%,这与郭晓红等^[14]和殷文等^[15]的研究基本一致。魏廷邦等^[16]研究表明,对籽粒产量影响最大的是有效穗数,可以通过增加玉米有效穗数来实现增产。

郑利芳等^[17]和周琦等^[18]研究表明,优化施肥量和施肥时期也可以提高玉米产量。当氮肥施

用量在合适的范围内时,可以保证玉米稳产,提高氮肥利用率和经济效益^[19]。施磷量不影响各器官间生物量和磷的分配,随着施磷量的增加地上部的生物量增加,在最适施磷量时,玉米产量增加^[20]。适宜的种植密度和施肥方法可以提高干物质积累量,促进氮、磷、钾吸收,提高籽粒氮、磷、钾的含量和氮、磷、钾的利用效率,从而提高玉米产量^[21]。植株养分积累量均随着生育进程的推进而差距增大^[22],本研究在开花期达到最大,而且在开花期之前积累速率较快,之后积累速率有所下降。侯云鹏等^[23]研究表明,相对于一次性施氮,氮肥后移可显著提高氮、磷、钾的养分转运量、转运率和籽粒养分增加量。本研究中,钾肥的偏生产力和钾素吸收效率均大于或显著大于氮、磷肥的偏生产力和吸收效率,这与张光岩等^[24]的研究结果一致。OPT-1 和 OPT-2 处理与 TRA 处理相比均未提升玉米的氮、磷、钾肥偏生产力,主要是由于 OPT-2 处理增加了化肥用量后,养分综合利用效率随之下降,增加的氮素向籽粒的转移比例减少^[25]。

4 结论

在东北中部地区中等土壤肥力条件下, 将种植密度增加至 9.0 万株/hm², 优化氮、磷、钾肥运筹方式, 调增氮肥在拔节期的施用比例, 可显著提高玉米生育期内干物质的积累量和累积速率, 增加玉米在成熟期氮、磷、钾的累积量, 提升转运效率, 进而实现玉米增产 20% 以上的目标。

参考文献:

- [1] 阎裕丽. 东北农牧交错区紫花苜蓿/玉米间作条件下土壤水分变化特征及水分利用效率 [D]. 长春: 东北师范大学, 2013.
- [2] 王俊. 吉林玉米带不同米豆间作模式下的产量效应及其机理研究 [D]. 长春: 吉林农业大学, 2018.
- [3] 侯海鹏. 基于产量性能的夏玉米群体量化及其高产技术体系研究 [D]. 北京: 中国农业科学院, 2013.
- [4] 刘正, 高佳, 高飞, 等. 综合农艺管理提高夏玉米产量和养分利用效率的潜力 [J]. 植物营养与肥料学报, 2019, 25 (11): 1847-1855.
- [5] 张秀芝, 蔡红光, 闫孝贡, 等. 不同施肥方式下春玉米氮磷钾养分累积与分配特征 [J]. 水土保持学报, 2014, 28 (5): 309-313.
- [6] 袁静超, 刘剑钊, 梁尧, 等. 综合农学管理模式对春玉米产量和养分累积特征的影响 [J]. 中国农业科学, 2019, 52 (20): 3546-3558.
- [7] 靳立斌, 崔海岩, 李波, 等. 综合农艺管理对夏玉米氮效率和土壤硝态氮的影响 [J]. 作物学报, 2013, 39 (11): 2009-2015.
- [8] 袁静超, 刘剑钊, 梁尧, 等. 东北中部春玉米超高产群体养分管理模式的研究与验证 [J]. 植物营养与肥料学报, 2020, 26 (9): 1669-1680.
- [9] 蔡红光, 袁静超, 刘剑钊, 等. 高密度种植条件下春玉米氮素的需求规律与适宜施氮量 [J]. 中国农业科学, 2017, 50 (11): 1995-2005.
- [10] 李梁, 陶洪斌, 周祥利, 等. 吉林省不同地区高产春玉米养分吸收及分配规律研究 [J]. 华北农学报, 2011, 26 (4): 159-166.
- [11] 任昊, 程乙, 刘鹏, 等. 不同栽培模式对夏玉米根系性能及产量和氮素利用的影响 [J]. 中国农业科学, 2017, 50 (12): 2270-2281.
- [12] 曹庆军, 王洪预, 张铭, 等. 高施肥水平下密度对春玉米产量的影响 [J]. 玉米科学, 2009, 17 (3): 113-115.
- [13] 王宏庭, 王斌, 赵萍萍, 等. 种植方式、密度、施肥量对玉米产量和肥料利用率的影响 [J]. 玉米科学, 2009, 17 (5): 104-107.
- [14] 郭晓红, 兰宇辰, 胡月, 等. 栽培方式对寒地水稻产量及光合特性的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2020 (6): 220-227.
- [15] 殷文, 陈桂平, 郭瑶, 等. 春小麦秸秆还田对后茬玉米干物质积累及产量形成的调控效应 [J]. 中国生态农业学报 (中英文), 2020, 28 (8): 1210-1218.
- [16] 魏廷邦, 胡发龙, 赵财, 等. 氮肥后移对绿洲灌区玉米干物质积累和产量构成的调控效应 [J]. 中国农业科学, 2017, 50 (15): 2916-2927.
- [17] 郑利芳, 吴三鼎, 党廷辉. 不同施肥模式对春玉米产量、水分利用效率及硝态氮残留的影响 [J]. 水土保持学报, 2019, 33 (4): 221-227.
- [18] 周琦, 张富仓, 李志军, 等. 施氮时期对夏玉米生长、干物质转运与产量的影响 [J]. 干旱地区农业研究, 2018, 36 (1): 76-82.
- [19] Li G H, Gheng G G, Lu W P, et al. Differences of yield and nitrogen use efficiency under different applications of slow release fertilizer in spring maize [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2021, 20 (2): 554-564.
- [20] Zhang W, Li H, Zhang J, et al. Contrasting patterns of accumulation, partitioning, and remobilization of biomass and phosphorus in a maize cultivar [J]. The Crop Journal, 2022, 10 (1): 8.
- [21] Li G H, Cheng Q, Li L, et al. N, P and K use efficiency and maize yield responses to fertilization modes and densities [J]. Journal of Integrative Agriculture, 2021, 20 (1): 78-86.
- [22] 隋鹏祥, 有德宝, 安俊朋, 等. 秸秆还田方式与施氮量对春玉米产量及干物质和氮素积累、转运的影响 [J]. 植物营养与肥料学报, 2018, 24 (2): 316-324.
- [23] 侯云鹏, 孔丽丽, 杨建, 等. 氮肥运筹对春玉米产量、养分吸收和转运的影响 [J]. 玉米科学, 2016, 24 (4): 137-143.
- [24] 张光岩, 徐良菊, 李俊良, 等. 灌水及肥料配施对夏玉米产量和养分吸收利用的影响 [J]. 山东农业科学, 2020, 52 (7): 54-59.
- [25] 吕楠. 不同栽培模式对玉米产量形成与水氮利用效率的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.

Accumulation and transport characteristics of nutrient for spring maize in different cultivation modes

WANG Yi-lin^{1, 2}, ZHANG Shui-mei², YUAN Jing-chao², CHENG Song², LIANG Yao², LIU Song-tao², REN Jun², CAI Hong-guang², LIU Jian-zhao^{2*} (1. Academy of Resource and Environment, Jilin Agriculture University, Changchun Jilin 130118; 2. Institute of Agricultural Resource and Environment, Jilin Academy of Agricultural Sciences, Key Laboratory of Plant Nutrition and Agro-environment in Northeast Region, MOA. Changchun Jilin 130033)

Abstract: The yield, dry matter accumulation, nutrient accumulation and transport characteristics of spring maize under different cultivation methods were studied to provide a theoretical basis for the efficient utilization of spring maize nutrients. From 2012 to 2013, a two-year located experiment was carried out in Kaoshan Town, Nong'an County, Jilin Province, and three cultivation modes were set up under field conditions, namely, farmer mode (TRA), optimized cultivation mode 1 (OPT-1), Optimized cultivation mode 2 (OPT-2). The tested varieties were all Limin 33. The absorption dynamics of nitrogen, phosphorus, and potassium were determined during the maize the 6th leaf spreading (V6), the 12th leaf spreading (V12), flowering (R1), filling (R3), mature (R6) stages. The results showed that, in the three cultivation modes, the average yield of two years was OPT-2>OPT-1>TRA. Compared to TRA treatment, the yield under OPT-2 treatment increased by 24.6% and 24.2%, respectively. The average number of ears harvested in the two years under OPT-1 and OPT-2 treatments increased by 65.4% and 81.5%, respectively. The dry matter accumulation under OPT-2 treatment was significantly higher than that under OPT-1 and TRA treatment during the whole growth stages. At the mature stage, the dry matter accumulation under OPT-2 treatment was 10.0% higher than that of OPT-1 treatment and 24.2% higher than that of TRA treatment. From the 6th leaf spreading stage to the maturity stage, the accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium increased gradually under all treatments, and the accumulation rate reached the maximum at the anthesis stage. At the maturity stage, the accumulation of nitrogen, phosphorus and potassium under OPT-2 treatment increased by 12.8% and 39.2%, 10.4% and 26.1%, 12.8% and 27.5%, respectively, compared with that under OPT-1 and TRA treatment, and there were significant differences among different treatments. Under the three cultivation modes, before the anthesis stage, the amount and contribution rate of phosphorus and potassium under OPT-2 treatment were higher than those under OPT-1 treatment. After the anthesis stage, the nitrogen accumulation and contribution rate under OPT-2 treatment were higher than that under OPT-1 treatment. Compared with OPT-1 treatment, the partial productivity of nitrogen, phosphorus and potassium for two years increased by 10.8% on average under OPT-2 treatment. Therefore, on the basis of rationally increasing the density, optimizing the amount of chemical fertilizer and fertilization period could realize the efficient utilization of nitrogen, phosphorus and potassium nutrients in spring maize in the central part of Northeast China, and ensure the sustainability of high yield of maize.

Key words: spring maize; grain yield; nutrient accumulation and transport