

不同基因型糜子品种氮磷养分吸收差异研究

张磊 董孔军 何继红 任瑞玉 刘天鹏 杨天育

(甘肃省农业科学院作物研究所, 730070, 甘肃兰州)

摘要 选择不同生态区主栽的 10 个糜子品种, 于 2017 和 2018 年大田试验研究了不同糜子品种对氮磷养分吸收的差异。结果表明, 不同糜子品种的干物质积累量、植株吸氮和吸磷量及产量差异显著。与当地主栽品种陇糜 14 号相比, 内糜 6 号、宁糜 14 号和赤糜 1 号的干物质积累量年均分别达到其 72.9%、74.9%和 77.0%, 磷吸收量分别达到其 67.1%、75.2%和 85.2%, 氮吸收量分别达到其 71.9%、80.1%和 79.6%; 而晋黍 7 号、内糜 8 号、榆糜 3 号和陇糜 13 号的干物质积累量、吸氮量和吸磷量分别达到其 136.2%~166.6%、131.2%~176.8%和 144.8%~201.6%, 其中陇糜 13 号的干物质积累量和养分吸收量最高。在产量及其构成要素中, 与其他品种相比, 晋黍 7 号的穗重和穗粒重最高, 宁糜 14 号和内糜 6 号的穗数显著较高, 内糜 6 号、内糜 8 号和宁糜 14 号的产量明显较高。不同糜子品种的氮磷比显示, 拔节期前高氮磷比和拔节期后低氮磷比有利于糜子干物质积累和产量形成, 不同生育阶段的氮磷比也可作为选择高产型糜子的重要指标。

关键词 黄土高原; 糜子; 产量; 养分吸收

糜子 (*Panicum miliaceum* L.) 距今有近 10 000 年的栽培历史^[1-2]。其节水抗旱, 适应力强, 营养价值较高^[3], 是绿色优质保健食品源^[4], 也是我国北方重要的杂粮作物, 在特色产业发展和旱作区抗救灾农业生产中发挥着重要作用。

不同糜子品种在生长各阶段的表现不同, 杨文静^[5]研究表明, 宁糜 15 号出苗最早, 华糜 1 号虽然出苗最晚, 但最早进入拔节期和成熟期; 陇糜 5 号和华糜 1 号生育期最短, 陇糜 10 号和宁糜 16 号的生育期最长。李倩等^[6]研究显示, 粳性糜子品种的生育期一般为 58~77 d, 糯性品种的生育期一般为 69~83 d, 同时也发现, 与糯性品种相比, 不同粳性的糜子品种在株高、穗数和主茎节数等方面存在明显差异。研究^[7]表明, 不同基因型糜子对养分吸收能力不同可能影响了不同糜子品种的生长进程。因此, 研究不同糜子品种对养分吸收利用的差异有助于进一步提高糜子的栽培管理措施。

氮和磷是作物营养生长和生殖生长所需的主要元素, 氮素参与叶绿素的组成, 对作物的光合作和形态建成具有重要的影响; 磷素参与细胞膜的形成, 是作物体内磷脂分子和 ATP 合成的主要元素^[8]。在黄土高原旱作农业区, 水分不足或季节性分布不均导致土壤中活性氮和磷供应不足, 无法满

足作物生长需求, 从而限制了作物的正常生长^[9-10], 而化学肥料施用过多不仅会造成资源浪费, 也会影响作物正常的生长发育^[11-12]。因此, 根据作物在不同生长阶段的需肥特征来调节土壤中的氮磷含量可能是增产的有效技术措施。糜子对氮磷元素的吸收利用显著影响干物质积累和产量形成^[13-14], 不同糜子品种在各个生长阶段对氮磷养分吸收的响应不同^[7,15-16]。因此, 明确不同基因型糜子品种对氮磷养分吸收的差异, 对旱作区糜子增产和提高肥料利用效率有重要意义。本试验收集了 10 个我国黄土高原地区糜子主栽品种, 研究了不同基因型糜子品种的干物质积累特征、农艺性状和产量差异以及植株氮磷吸收特性, 为糜子生产中品种选择和科学施肥提供参考。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选取不同生态区主栽的 10 个糜子品种, 分别为晋黍 7 号、内糜 6 号、内糜 8 号、榆黍 1 号、榆糜 3 号、雁黍 11 号、陇糜 14 号、宁糜 14 号、陇糜 13 号和赤糜 1 号。

1.2 试验地概况

试验于 2017-2018 年在甘肃省农业科学院会宁

作者简介: 张磊, 主要从事谷子、糜子栽培和育种研究, E-mail: zhlei1984@126.com

杨天育为通信作者, 主要从事谷子、糜子遗传育种研究, E-mail: 13519638111@163.com

基金项目: 国家现代农业产业技术体系项目 (CARS-06-14.5-A8); 2021 年甘肃省拔尖人才项目; 甘肃省农业科学院现代生物育种 (2021GAAS02)

收稿日期: 2023-01-04; 修回日期: 2023-02-07; 网络出版日期: 2023-03-23

试验基地 (105°06' E, 35°40' N, 海拔 1800.5 m) 进行, 平均无霜期 132 d, 年均蒸发量约 1800 mm; 该地区 2017 和 2018 年 4-9 月降水量分别为 399.7 和 423.5 mm, 平均气温均为 16.9 °C, 具体如图 1 所示。试验地土壤类型为黄绵土, 土壤含有有机质 12.2 g/kg、全氮 0.83 g/kg、碱解氮 44.6 mg/kg、全磷 0.83 g/kg、速效磷 3.79 mg/kg、全钾 20.6 g/kg、速效钾 178 mg/kg、pH 8.46。播种前结合旋耕整地, 一次性基施纯氮肥 138 kg/hm² (尿素, 46%), 纯磷肥 72 kg/hm² (过磷酸钙, 12%)。全生育期依赖自然降雨, 不进行灌溉。

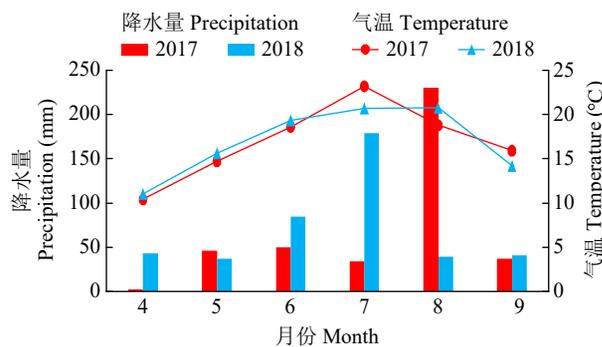


图 1 2017 和 2018 年糜子生育期内降水量和气温
Fig.1 Precipitation and temperature during the growth period of proso millet in 2017 and 2018

1.3 试验设计

采用单因素随机区组设计, 小区行数 16, 行长 5 m, 行距 0.25 m, 面积为 20 m², 3 次重复, 小区四周设置 0.5 m 宽的保护行和 0.5 m 宽的走道。2 年均于 4 月 26 日播种, 9 月 17 日收获。

1.4 测定项目与方法

1.4.1 干物质积累 在糜子苗期、拔节期、灌浆期和成熟期, 每个小区随机选有代表性的糜子 10 株, 采集地上部植株样品, 于 105 °C 杀青 30 min, 75 °C 烘干至恒重后称重。

1.4.2 植株氮和磷 在糜子苗期、拔节期、抽穗期和成熟期取地上部植株, 在自然条件下风干, 用粉碎机研磨后过 40 目筛, 取 0.2 g 样品, 加入 5 mL H₂SO₄ 和 1 mL H₂O₂, 置于消解炉进行消解。利用凯氏定氮仪^[17]测定全氮含量, 采用钼锑抗吸光光度法^[18]测定全磷含量。

1.4.3 产量及其构成因素 在成熟期, 每个小区选 3 个 1 m² 的样方测定穗数, 并在其中随机选取 30 株进行考种, 测定穗重和穗粒重。按小区收获并称重, 同时测定籽粒含水量, 计算 13% 含水量的籽粒产量。

1.5 数据处理

用 Excel 2019 整理和分析数据, 使用 SPSS 25.0 进行统计分析。使用单因素 ANOVA 分析中的 Duncan 多组检验法在 $P < 0.05$ 水平分析显著性。使用双变量分析中的双尾检验在 $P < 0.05$ 和 $P < 0.01$ 水平得到 Person 相关系数。

2 结果与分析

2.1 不同糜子品种的干物质积累量

如表 1 所示, 随着生育进程推进, 10 个糜子品种干物质积累量整体呈现逐渐增加的趋势, 并且在灌浆期品种间干物质积累量差异最大, 其次为成熟期, 苗期和拔节期品种间差异较小。在灌浆期, 晋黍 7 号 2 年间干物质积累量均最高, 其次为榆黍 1 号, 陇糜 14 号和赤糜 1 号表现最差。在成熟期, 2018 年陇糜 13 号的干物质积累量最高, 但在 2017 年榆糜 3 号干物质积累量与陇糜 13 号接近; 2017

表 1 不同糜子品种的干物质积累量

Table 1 Dry matter accumulation of different proso millet varieties g/株 g/plant

年份 Year	品种 Variety	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Maturity stage
2017	晋黍 7 号	0.05cd	4.53c	14.10a	17.65b
	内糜 6 号	0.05cd	3.52d	6.98cd	9.02e
	内糜 8 号	0.06b	4.74bc	8.75c	18.37b
	榆黍 1 号	0.05cd	4.50c	11.79b	12.91c
	榆糜 3 号	0.05cd	6.35a	8.28cd	21.83a
	雁黍 11 号	0.05cd	3.59d	6.62d	12.09cd
	陇糜 14 号	0.06bc	4.11cd	4.65f	13.64c
	宁糜 14 号	0.08a	3.98cd	5.34e	10.01d
	陇糜 13 号	0.06b	5.31b	6.12de	21.29a
	赤糜 1 号	0.04d	3.63d	4.26f	9.55de
变异系数 Coefficient of variation (%)		21.70	20.00	41.11	32.76
2018	晋黍 7 号	0.08ab	4.79b	15.75a	21.68c
	内糜 6 号	0.05d	3.24d	8.44d	12.09e
	内糜 8 号	0.09a	4.81b	8.49d	24.18ab
	榆黍 1 号	0.05d	4.48bc	12.44b	16.58d
	榆糜 3 号	0.06cd	6.64a	10.17c	22.36bc
	雁黍 11 号	0.05d	3.58cd	8.95cd	15.19d
	陇糜 14 号	0.05d	4.32bc	6.13f	15.17d
	宁糜 14 号	0.07b	4.00c	7.07e	11.58e
	陇糜 13 号	0.09a	5.27b	8.54d	26.88a
	赤糜 1 号	0.07bc	3.94c	6.49ef	12.74e
变异系数 Coefficient of variation (%)		23.49	21.43	31.67	30.75

不同小写字母表示品种间具有显著性差异, 下同。
Different lowercase letters indicate significant differences between varieties, the same below.

年内糜6号的干物质积累量最低,但在2018年宁糜14号和赤糜1号与内糜6号接近。2年数据显示,在成熟期,与陇糜14号相比,内糜6号、宁糜14号和赤糜1号的干物质积累量平均分别达到其72.9%、74.9%和77.0%,而晋黍7号、内糜8号、榆糜3号和陇糜13号的干物质积累量平均分别达到其136.2%、147.0%、153.7%和166.6%。

2.2 不同生育阶段糜子品种的氮吸收特性

如表2所示,随着生育期推进,参试糜子品种对氮的吸收整体呈逐渐增加的趋势,并且在灌浆期和成熟期各品种的吸氮量差异较大,苗期和拔节期差异较小。在成熟期,陇糜13号和榆糜3号的吸氮量较高,其次是内糜8号;而赤糜1号和内糜6号的吸氮量较低。在灌浆期,晋黍7号和榆黍1号的吸氮量显著较高,陇糜14号的吸氮量较低,但在2018年陇糜14号和赤糜1号的吸氮量没有显著差异。在拔节期,榆糜3号的吸氮量最高,而雁黍11号的吸氮量较低。2年数据说明,糜子苗期和拔节期氮素吸收量的变异系数均低于灌浆期和成熟

表2 不同糜子品种的氮素吸收量

Table 2 Nitrogen uptake of different proso millet varieties g/株 g/plant

年份 Year	品种 Variety	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Maturity stage
2017	晋黍7号	1.55c	130.35bc	256.12a	317.93b
	内糜6号	1.84b	131.05bc	126.97d	155.11e
	内糜8号	2.16a	128.55c	161.91b	343.94ab
	榆黍1号	1.23d	131.52bc	225.23a	211.08d
	榆糜3号	1.80b	191.34a	149.62bc	374.86a
	雁黍11号	1.70b	92.53e	132.08cd	216.83cd
	陇糜14号	1.55c	94.38e	117.74d	243.79c
	宁糜14号	2.12a	96.10de	115.14d	166.47e
	陇糜13号	2.39a	116.04cd	147.88bc	367.04a
	赤糜1号	1.33d	101.03d	144.31bc	176.75c
变异系数 Coefficient of variation (%)		21.07	21.23	40.53	33.32
2018	晋黍7号	3.01ab	149.45b	207.27a	279.43bc
	内糜6号	1.96cd	87.92d	137.91b	169.50e
	内糜8号	3.36a	150.94b	141.78b	309.99b
	榆黍1号	1.68d	130.48bc	227.40a	245.38cd
	榆糜3号	2.35c	190.37a	156.92b	338.53b
	雁黍11号	1.82cd	99.20d	116.62c	251.24c
	陇糜14号	1.95cd	132.15bc	96.12d	211.62d
	宁糜14号	2.51bc	133.04bc	119.55c	194.54de
	陇糜13号	3.43a	137.76b	141.76b	429.54a
	赤糜1号	2.74b	116.98c	92.16d	183.58e
变异系数 Coefficient of variation (%)		25.73	21.51	30.68	30.91

期。2年数据显示,在成熟期,与陇糜14号相比,内糜6号、宁糜14号和赤糜1号的吸氮量平均分别是其71.9%、80.1%和79.6%,而晋黍7号、内糜8号、榆糜3号和陇糜13号的吸氮量平均分别是其131.2%、143.8%、156.9%和176.8%。

2.3 不同生育阶段糜子品种的磷吸收特性

如表3所示,随生育时期推进,参试糜子品种植株吸磷量逐渐增加,并且在成熟期各品种的吸磷量差异最大,其次为灌浆期和苗期,拔节期差异较小。在成熟期,陇糜13号的吸磷量最高,其次是内糜8号、榆糜3号和晋黍7号;而内糜6号的吸磷量最低,但在2017年与宁糜14号的吸磷量无显著差异。在灌浆期,晋黍7号的吸磷量最高,其次为榆黍1号,陇糜14号和赤糜1号的吸磷量较低。在苗期,各糜子品种的吸磷量在2年间差异较大,陇糜13号和内糜8号的吸磷量较高。糜子成熟期的磷素吸收量的变异系数要高于营养生长期。2年数据显示,在成熟期,与陇糜14号相比,内糜6号、宁糜14号和赤糜1号的吸磷量平均分别达到

表3 不同糜子品种的磷素吸收量

Table 3 Phosphorus uptake of different proso millet varieties g/株 g/plant

年份 Year	品种 Variety	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Maturity stage
2017	晋黍7号	0.13cd	10.05ab	25.94a	40.78b
	内糜6号	0.14c	7.32e	15.92b	19.39e
	内糜8号	0.16bc	12.13a	13.65b	47.40b
	榆黍1号	0.13cd	10.31ab	22.51a	25.25cd
	榆糜3号	0.12d	11.75a	12.67bc	47.16b
	雁黍11号	0.13cd	9.04b	10.66c	27.09c
	陇糜14号	0.15c	8.60b	8.66d	29.76c
	宁糜14号	0.22a	9.40b	10.35cd	20.12e
	陇糜13号	0.18b	10.09ab	10.90c	58.97a
	赤糜1号	0.10e	7.85be	9.11d	23.59d
变异系数 Coefficient of variation (%)		23.52	16.05	41.61	40.30
2018	晋黍7号	0.23b	16.06cd	30.71a	57.66b
	内糜6号	0.12ef	11.25f	21.52bc	26.11e
	内糜8号	0.28a	17.22c	23.18b	67.95ab
	榆黍1号	0.11f	17.79c	29.36a	41.12c
	榆糜3号	0.16d	24.90a	19.32bc	61.04c
	雁黍11号	0.15de	13.17e	20.23bc	39.49c
	陇糜14号	0.13e	15.72d	13.36d	37.77c
	宁糜14号	0.18cd	12.04ef	18.10c	31.27d
	陇糜13号	0.29a	20.03b	19.90bc	77.41a
	赤糜1号	0.19c	14.14e	13.76d	34.40cd
变异系数 Coefficient of variation (%)		33.96	25.09	27.24	36.47

其 67.1%、75.2%和 85.2%，而晋黍 7 号、内糜 8 号、榆糜 3 号和陇糜 13 号的吸磷量平均分别达到其 144.8%、169.6%、160.0%和 201.6%。

2.4 不同生育阶段糜子品种氮磷比

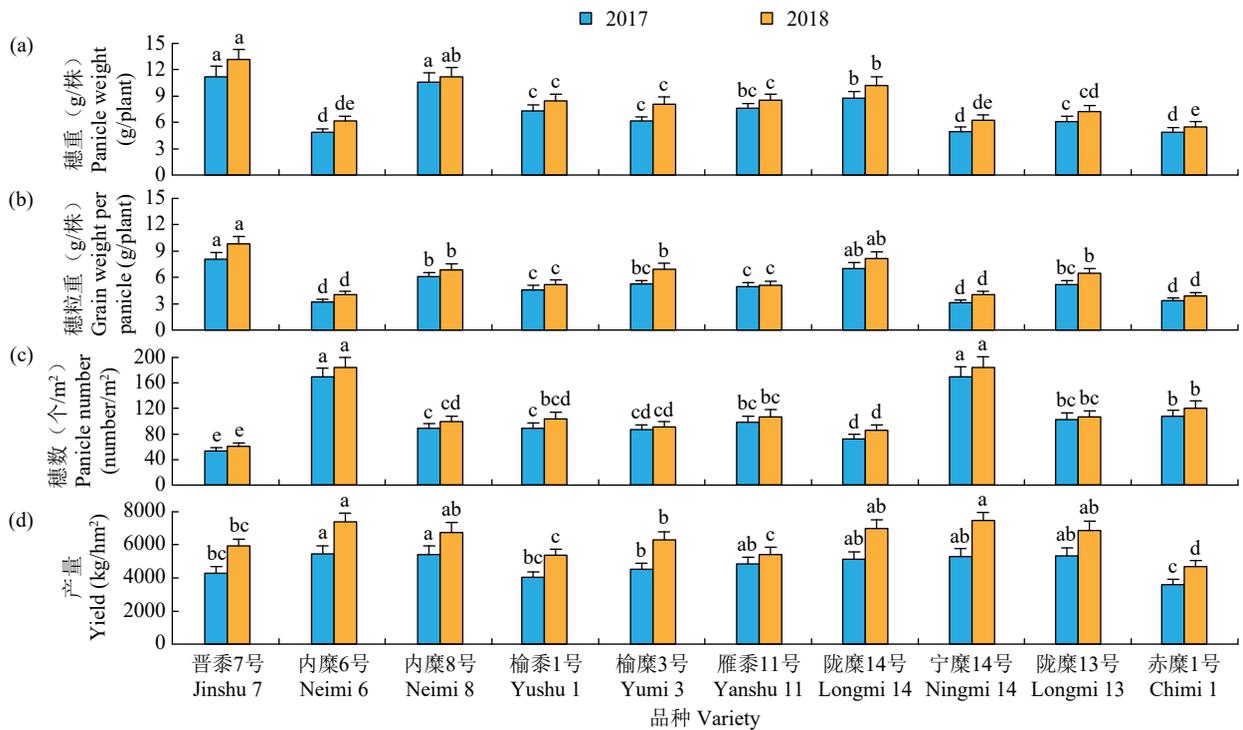
如表 4 所示，随生育时期推进，参试糜子品种植株吸收的氮磷比呈降低的趋势，其中在 2017 年呈先增加后降低的趋势。各品种在拔节期的氮磷比差异最大，其次是苗期和灌浆期，在成熟期的氮磷比差异最小。在拔节期，各品种糜子的氮磷比在 2 年间的变异程度较高。在苗期，内糜 6 号、赤糜 1 号和榆糜 3 号的氮磷比较高。随着生育期推进，不同品种糜子的氮磷比差异缩小，在成熟期的差异最小。

2.5 不同糜子品种的产量及其构成因素

图 2 显示，基因型显著影响糜子的产量及其构成因素。由图 2a 和 2b 显示，穗重和穗粒重最高的品种为晋黍 7 号，穗粒重占穗重比例为 72.46%~74.60%；穗重和穗粒重较低品种分别为内糜 6 号、宁糜 14 号和赤糜 1 号；穗粒重占穗重比例最高的品种是陇糜 13 号，为 85.4%~89.5%，而最低品种是内糜 8 号，为 57.3%~61.0%。图 2c 显示，内糜 6 号和宁糜 14 号的穗数较高，而晋黍 7 号的穗数较低，其次是陇糜 14 号。图 2d 显示，各品种

表 4 不同糜子品种氮和磷的吸收比例
Table 4 Nitrogen and phosphorus absorption ratio of different proso millet varieties g/株 g/plant

年份 Year	品种 Variety	苗期 Seedling stage	拔节期 Jointing stage	灌浆期 Filling stage	成熟期 Maturity stage
2017	晋黍 7 号	11.89bc	12.97cd	9.88b	7.80a
	内糜 6 号	13.62a	17.91a	7.97c	8.00a
	内糜 8 号	13.68a	10.59de	11.86ab	7.26ab
	榆黍 1 号	9.31d	12.75cd	10.00b	8.43a
	榆糜 3 号	14.79a	16.31ab	11.81ab	7.95a
	雁黍 11 号	13.04ab	10.23e	12.38a	8.01a
	陇糜 14 号	10.48cd	13.69c	10.90ab	8.19a
	宁糜 14 号	9.63d	12.15d	9.28b	8.27a
	陇糜 13 号	13.40ab	14.66bc	10.65ab	6.22b
	赤糜 1 号	13.70a	12.87cd	8.16c	7.49ab
变异系数 Coefficient of variation (%)		15.53	17.66	14.79	8.30
2018	晋黍 7 号	12.96bc	9.31b	6.75bc	4.85c
	内糜 6 号	15.92a	7.82bc	6.41bc	6.49a
	内糜 8 号	12.02c	8.77b	6.12cd	4.56c
	榆黍 1 号	14.85ab	7.34cd	7.75ab	5.97ab
	榆糜 3 号	14.27ab	7.65cd	8.12a	5.54abc
	雁黍 11 号	12.04c	7.53cd	5.77d	6.36a
	陇糜 14 号	15.13a	8.40bc	7.19ab	5.60abc
	宁糜 14 号	14.28ab	11.05a	6.61bc	6.22a
	陇糜 13 号	11.95c	6.88d	7.12ab	5.55abc
	赤糜 1 号	14.44ab	8.27bc	6.70bc	5.34bc
变异系数 Coefficient of variation (%)		10.43	14.49	10.45	11.19



不同小写字母表示同一年品种间具有显著差异。

Different lowercase letters indicate significant differences between varieties in the same year.

图 2 不同糜子品种的产量及其构成因素

Fig.2 Yield and its components of different proso millet varieties

在2018年的产量高于2017年，产量最高的品种是内糜6号，最低的品种是赤糜1号；此外，产量较高的品种还有内糜8号、宁糜14号、陇糜14号和陇糜13号。

2.6 糜子生长与植株氮磷吸收的关系分析

如表5所示，干物质与N、P、穗重和穗粒重

存在显著或极显著的正相关关系，与N/P和穗数存在显著的负相关关系；N和P吸收之间存在极显著的正相关关系；N/P的下降主要受磷含量上升的影响；穗重与穗粒重呈极显著的正相关关系，两者与穗数呈极显著的负相关关系；产量仅与N/P呈极显著的负相关关系。

表5 不同指标间的相关分析
Table 5 The correlation analysis between different indexes

指标 Index	干物质 Dry matter	N	P	N/P	穗重 Panicle weight	穗粒重 Grain weight per panicle	穗数 Panicle number	产量 Yield
干物质 Dry matter	1.00							
N	0.92**	1.00						
P	0.97**	0.87**	1.00					
N/P	-0.55*	-0.27	-0.68**	1.00				
穗重 Panicle weight	0.51*	0.38	0.48*	-0.40	1.00			
穗粒重 Grain weight per panicle	0.65**	0.52*	0.60**	-0.43	0.90**	1.00		
穗数 Panicle number	-0.53*	-0.45*	-0.48*	0.08	-0.68**	-0.75**	1.00	
产量 Yield	0.27	0.08	0.36	-0.61**	0.19	0.22	0.40	1.00

“*”表示在 $P < 0.05$ 水平下显著相关，“**”表示在 $P < 0.01$ 水平下显著相关。
“**” indicates significant correlation at $P < 0.05$, “***” indicates significant correlation at $P < 0.01$.

3 讨论

不同糜子品种间的干物质积累在各生育时期差异明显。我们之前的研究^[19]发现，适当的氮肥用量可以促进粳、糯糜子的干物质积累，且粳、糯糜子之间干物质积累存在较大差异。本研究中，不同糜子品种在生长过程中的干物质积累量呈现快慢不一的趋势，这也造成成熟期的干物质积累量不同，其中陇糜13号在成熟期的干物质积累量最多，内糜6号的干物质积累量最低。进一步研究^[19]发现，灌浆期到成熟期的干物质积累量最多，这也表明糜子的穗重对干物质积累有主要影响。然而，干物质积累多并不能代表高的籽粒产量^[20]。如陇糜13号的干物质积累最高，而穗重和穗粒重最高的品种为晋黍7号，但是穗重过低会导致籽粒产量下降，如内糜6号和赤糜1号。相关分析也表明，干物质与穗重有显著的正相关关系，而与粒重呈正相关但不显著。

糜子对土壤中氮和磷的吸收具有协同性^[13-14]。缺水造成旱地农田土壤中氮和磷的活化降低，糜子在缺素胁迫下会刺激根系产生分泌物来活化稳定状态的氮和磷，满足自身需求^[21]。本研究表明，干物质积累量多的品种，其活化和吸收氮和磷的能力较强，如内糜8号、榆糜3号、陇糜13号和晋黍7号。作物在生长过程中对氮和磷吸收比例的差异也会影响最终的干物质积累量和产量^[22-23]，这在小

麦^[24]和高粱^[25]的研究中得到证实。本研究对2年的糜子不同生长期的N/P与干物质积累和产量差异的分析表明，拔节前高的N/P和拔节后低的N/P有助于物质积累和产量形成。这可能是糜子在生长前期对氮的吸收较多，有助于形成有利生长势，而在灌浆期对P元素的吸收增多，有利于同化产物向籽粒转移^[26-27]。

李倩等^[6]研究表明，不同粳、糯糜子品种的产量及其构成因素存在较大差异。本研究也发现，不同基因型糜子对生态区的改变非常敏感，导致产量的变异幅度也比较大，其中产量较高的品种为内糜6号、宁糜14号、陇糜14号和内糜8号，最低的品种是赤糜1号。以往的研究^[20]大多从产量构成或者作物形态特征来解释产量。本研究发现，影响产量的首要因素是N/P，其次是穗数和穗粒重，由此可见，作物对氮和磷的吸收也可作为高产品种的重要评价指标。此外，陇糜13号的干物质积累量、氮和磷的吸收量以及穗重最高，内糜6号的最低，可分别作为对氮磷吸收反应迟钝和反应敏感的研究材料。

4 结论

综上所述，通过比较黄土高原地区不同基因型糜子品种的氮磷吸收特征和产量，发现拔节前高的N/P和拔节后低的N/P的糜子品种（内糜6号、内糜8号和宁糜14号）具有更高的生产潜力。同时，

内糜 6 号和陇糜 13 号可分别作为氮磷养分吸收敏感型和氮磷高吸收型的研究材料。

参考文献

[1] Zhang J P, Lu H Y, Gu W F, et al. Early mixed farming of millet and rice 7800 years ago in the Middle Yellow River region, China. *PLoS ONE*, 2012, 7(12): 1-8.

[2] 赵志军. 中国农业起源概述. *遗产与保护研究*, 2019, 4(1): 1-7.

[3] 杨清华. 粳糯糜子品种品质评价与蒸煮食味品质特性研究. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020.

[4] 岳慧芬. 糜子黄酒发酵工艺与抗氧化特性研究. 杨凌: 西北农林科技大学, 2019.

[5] 杨文静. 糜子新品系比较试验总结. *农村实用技术*, 2022(8): 74-75.

[6] 李倩, 封伟, 冯海智, 等. 不同糜子品种的鉴定与综合评价. *陕西农业科学*, 2022, 68(5): 20-27.

[7] 刘春娟. 糜子对低氮胁迫的响应及耐低氮基因挖掘研究. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021.

[8] He M S, Yan Z B, Cui X Q, et al. Scaling the leaf nutrient resorption efficiency: Nitrogen vs phosphorus in global plants. *Science of the Total Environment*, 2020, 729: 138920.

[9] 严加坤, 张宁宁, 张岁岐. 谷子对干旱胁迫的生理生态响应. *生态学报*, 2021, 41(21): 8612-8622.

[10] 崔雯雯, 宋全昊, 高小丽, 等. 糜子不同种植方式对土壤酶活性及养分的影响. *植物营养与肥料学报*, 2015, 21(1): 234-240.

[11] 张娉, 柴晓娇, 沈铁男, 等. 不同氮素水平对谷子农艺性状和氮素利用效率的影响. *江苏农业科学*, 2022, 50(1): 66-71.

[12] 周汉章, 刘环, 刘斐, 等. 播量与水肥耦合对秋闲田饲用谷子水分利用率的影响. *农学学报*, 2015, 5(12): 27-38.

[13] 张磊, 杨天育, 刘天鹏, 等. 半干旱条件下糜子氮磷积累、分配及利用效率的差异. *甘肃农业大学学报*, 2020, 55(3): 62-70, 77.

[14] 张美俊, 乔治军, 杨武德, 等. 糜子氮、磷、钾肥的效应及优化研究. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(2): 347-353.

[15] 罗世武, 程炳文, 杨军学, 等. 不施氮对不同糜子品种生长及产量的影响. *湖北农业科学*, 2020, 59(23): 51-54, 57.

[16] 曹晓宁, 王君杰, 王海岗, 等. 糜子栽培研究进展. *安徽农业科学*, 2015, 43(31): 79-81, 84.

[17] 杨亚丽, 蔡顺林. 流动分析法与凯氏定氮法测定植物全氮的比较. *玉溪师范学院学报*, 2016, 32(8): 51-54.

[18] 李萍, 李明明, 王浩, 等. 改良钼锑抗比色法测定不同谷子材料组织磷含量. *激光生物学报*, 2020, 29(3): 237-244.

[19] 张磊, 何继红, 董孔军, 等. 氮肥对硬性和糯性糜子干物质积累和产量性状及氮肥利用效率的影响. *核农学报*, 2021, 35(12): 2860-2868.

[20] 游文萍, 张东升, 刘昭霖, 等. 糜子不同品种的光合能力和源库关系类型对产量形成影响的研究. *激光生物学报*, 2021, 30(6): 533-540, 564.

[21] 杨刚. 糜子溶磷、固氮内生菌的筛选及应用效应分析. 杨凌: 西北农林科技大学, 2020.

[22] 金欣欣, 王瑾, 宋亚辉, 等. 高油酸花生干物质积累及氮磷钾养分的吸收利用. *华北农学报*, 2021, 36(增 1): 231-239.

[23] 王晓强, 许跃奇, 何晓冰, 等. 不同烤烟品种干物质积累及养分吸收特征. *贵州农业科学*, 2022, 50(8): 8-14.

[24] 党红凯, 李瑞奇, 李雁鸣, 等. 超高产栽培条件下冬小麦对磷的吸收、积累和分配. *植物营养与肥料学报*, 2012, 18(3): 531-541.

[25] 李青凤, 高杰, 彭秋, 等. 不同施氮水平下糯高粱氮磷钾养分吸收规律研究. *江苏农业科学*, 2017, 45(5): 83-85.

[26] 陆秀娟, 潘虹, 李祥栋, 等. 氮、磷、钾肥料对紫色小麦籽粒灌浆特征及产量形成的影响. *江苏农业科学*, 2016, 44(7): 123-126.

[27] 赵秀兰, 李文雄. 氮磷水平和播期对春小麦籽粒灌浆期降落数值动态变化的影响. *植物生态学报*, 2006(2): 344-351.

Study on the Difference of Nitrogen and Phosphorus Uptake of Different Genotypes of Proso Millet (*Panicum miliaceum* L.) Varieties

Zhang Lei, Dong Kongjun, He Jihong, Ren Ruiyu, Liu Tianpeng, Yang Tianyu

(Crop Research Institute, Gansu Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou 730070, Gansu, China)

Abstract This study selected ten main varieties of proso millet grown in different ecological areas and conducted field trials in 2017 and 2018 to study the differences in nitrogen and phosphorus uptake of different proso millet varieties. The results showed that the dry matter accumulation, nitrogen and phosphorus uptake and yield of different proso millet varieties were significantly different. Compared with the main variety Longmi 14, the dry matter accumulation of Neimi 6, Ningmi 14 and Chimi 1 reached 72.9%, 74.9% and 77.0%, respectively, the phosphorus absorption reached 67.1%, 75.2% and 85.2%, respectively, and the nitrogen absorption reached 71.9%, 80.1% and 79.6%, respectively. However, the dry matter accumulation, nitrogen absorption and phosphorus absorption of Jinshu 7, Neimi 8, Yumi 3, and Longmi 13 reached 136.2%-166.6%, 131.2%-176.8%, and 144.8%-201.6%, respectively, of which Longmi 13 had the highest dry matter accumulation and nutrient absorption. In terms of yield and its components, compared with other varieties, Jinshu 7 had the highest panicle weight and grain weight per panicle, Ningmi 14 and Neimi 6 had the highest panicle number, and Neimi 6, Neimi 8, and Ningmi 14 had the highest yield. The N/P of different proso millet varieties showed that high N/P before jointing and low N/P after jointing were beneficial to dry matter accumulation and yield formation of proso millet, and the N/P at different growth stages could also be used as an important index for selecting high-yield proso millet.

Key words Loess Plateau; Proso millet; Yield; Nutrient absorption