

种植密度对南疆匀播冬小麦根系时空分布的影响

张丽¹, 张选^{1,2}, 翟云龙¹, 陈猛¹, 梁雪齐¹, 陈国栋¹, 吴全忠^{1*}

(1. 塔里木大学植物科学学院, 新疆阿拉尔 843300; 2. 新疆生产建设兵团第三师农业科学研究所, 新疆图木舒克 843300)

摘要 为明确匀播冬小麦根系对种植密度的响应, 以多穗型冬小麦品种新冬 22 号为材料, 设置了 123 万、156 万、204 万、278 万、400 万株/hm² 共 5 个种植密度, 研究了根长密度、根表面积、根系直径、根干质量密度时空分布。结果表明, 新冬 22 号根长密度、根系表面积、根干质量密度均在抽穗期达到最大值, 均呈先增加后降低的趋势, 越冬期 123 万株/hm² 处理的根长密度、根表面积和根干质量密度均大于其他处理。拔节期、抽穗期、成熟期根长密度、根表面积均由高到低依次为 156 万株/hm² 处理、204 万株/hm² 处理、123 万株/hm² 处理、278 万株/hm² 处理、400 万株/hm² 处理。5 种不同密度处理下 0~60 cm 土层根系分布最多, 占总根长的 95.13%~97.84%, 说明匀播冬小麦根系主要分布在 0~60 cm, 随深度的增加根系急剧减少。越冬后, 0~40 cm 土层的根系增长速率最为显著, 拔节后 40~100 cm 土层根系显著增多。越冬期高密度条件下匀播冬小麦根量较大; 拔节至抽穗期根系生长最旺盛, 各处理由高到低依次为 156 万株/hm² 处理、204 万株/hm² 处理、123 万株/hm² 处理、278 万株/hm² 处理、400 万株/hm² 处理, 匀播条件下新冬 22 号根系集中分布在 0~60 cm 土层。

关键词 冬小麦; 匀播; 种植密度; 根系

中图分类号 S512.1⁺; S311 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)14-0039-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.14.010



开放科学(资源服务)标识码(OSID):

Effects of Planting Density on Spatiotemporal Distribution of Root System of Uniformly Sowed Winter Wheat in Southern Xinjiang
ZHANG Li¹, ZHANG Xuan^{1,2}, ZHAI Yun-long¹ et al (1. College of Plant Science, Tarim University, Alar, Xinjiang 843300; 2. Institute of Agricultural Science, 3rd Division of Xinjiang Production and Construction Corps, Tumushuke, Xinjiang 843300)

Abstract To determine the response of roots of uniformly sowed winter wheat to the planting density in South Xinjiang area, multiple spike type winter wheat varieties of Xindong 22 were used as material, five planting density were designed, which were 123×10⁴, 156×10⁴, 204×10⁴, 278×10⁴ and 400×10⁴ plants/hm². The root length, root surface area, root length density and root dry weight were investigated. Results showed that root length density, root surface area and root dry mass density of Xindong 22 reached the maximum value at heading period, showing the trend of firstly enhance and then reduce. At overwintering period, treatment of 123×10⁴ plants/hm² showed greater root length density, root surface area and root dry mass density than other treatments. Root length density and root surface area at jointing stage, heading period and mature period were in the order of 156×10⁴ plants/hm² treatment>204×10⁴ plants/hm² treatment>123×10⁴ plants/hm² treatment>278×10⁴ plants/hm² treatment>400×10⁴ plants/hm² treatment. Under 5 different density treatments, 0~60 cm soil layer had the most root system distribution, accounting for 95.13%~97.84% of the total root length, showing that evenly sowing winter wheat root system was mainly distributed in 0~60 cm, the root system reduced sharply with the increase of soil layer. After wintering, increasing rate of root system at 0~40 cm soil layer was the most significant. After jointing, increasing rate of root system at 40~100 cm soil layer was the most significant. Root amount of uniformly sowed winter wheat was relatively great under high-density condition at overwintering period. Root system grew the most vigorously from jointing stage to heading stage, showing the order of 156×10⁴ plants/hm² treatment>204×10⁴ plants/hm² treatment>123×10⁴ plants/hm² treatment>278×10⁴ plants/hm² treatment>400×10⁴ plants/hm² treatment. Under uniform sowing, root system of Xindong 22 was mainly distributed at 0~60 cm soil layer.

Key words Winter wheat; Uniform sowing; Planting density; Root system

近年来随着其他经济作物的不断扩大, 新疆小麦种植面积不断下降, 且新疆维吾尔自治区和新疆生产建设兵团提出加强畜牧业发展的要求, 造成南疆粮饲紧缺, 产生粮食安全及畜牧业发展受限等问题, 因此如何使小麦稳产、高产成为小麦的主要研究方向, 而根系是小麦吸收水分和养分参与体内物质合成和转化过程的重要器官, 其生长发育程度直接影响地上部生长状况及籽粒产量^[1-6]。因此, 探求小麦根系的形态特征及其在土壤中的生长分布动态对于优化根系构型以实现小麦产量潜力提高具有十分重要的现实意义。小麦匀播技术是一种有利于小麦生产节本增效的先进生产模式, 但匀播技术是否适合新疆冬小麦的种植、不同品种类型冬小麦适合的匀播密度等方面研究较少。

目前冬小麦匀播技术的研究多集中在冬小麦地上部分

和种植模式等方面^[7-9], 对匀播小麦地下部分根系的研究还较少。植物根系结构分布及动态生长规律一直是根系研究领域的重要课题, 近些年有关小麦根系的研究主要集中于不同品种类型^[10-11]、耕作栽培措施^[12-13]、水肥条件^[14-16]、灌溉技术^[17]及生长冗余^[18]等方面。随着光学和微电子技术的不断成熟, 借助于先进的图像分析技术, 尤其是微根管技术, 对细根的形态、分布、周转过程和生产力水平等进行合理评价成为可能, Waddington 等^[19]利用类似微根管技术观察了温室里盆栽小麦的根系生长情况。阎素红等^[20]通过根钻取土, 扫描仪扫描的方法对比分析了不同类型冬小麦的根系生长特性, 指出不同类型冬小麦品种的根系生长特性存在明显差异; 田中伟等^[21]认为小麦品种类型与根系改良是高产高效栽培调控的重要目标。鉴于此, 笔者以新疆广泛种植的多穗型冬小麦品种新冬 22 号为研究对象, 研究了匀播不同种植密度下不同生育时期根系空间分布特征, 分析了该品种密度效应及适宜密度范围, 为确立并完善匀播冬小麦高产栽培模式提供理论与技术支撑。

基金项目 新疆生产建设兵团南疆重点产业支撑计划项目(2017DB010)。

作者简介 张丽(1985—), 女, 安徽界首人, 硕士, 从事作物高产理论与技术研究。*通信作者, 副教授, 博士, 从事作物高产理论与技术研究。

收稿日期 2021-03-15

1 材料与方

1.1 试验地概况 试验于2019—2020年在塔里木大学农学试验站进行,试验点位于塔里木盆地西北边缘(40°33'N, 81°16'E),海拔1 012.2 m,年平均气温11.4℃,年均降水量50.8 mm,年均蒸发量1 988.4 mm,年均相对湿度在55%以下,属典型暖温带内陆型气候,试验地土质为砂壤土。

1.2 试验材料与设计 该研究为田间试验,供试材料为多穗型冬小麦品种新冬22号,人工开沟定穴点播,均匀播种设置为5个密度,株、行距配置分别为M1处理(5 cm×5 cm)、M2处理(6 cm×6 cm)、M3处理(7 cm×7 cm)、M4处理(8 cm×8 cm)、M5处理(9 cm×9 cm),分别对应密度为400.0、277.8、204.1、156.3、123.5株/m²。2019年10月1日播种,2020年6月21日收获。分别在越冬期、拔节期、抽穗期、成熟期取样测定根长密度、根表面积、根干质量,每次每个处理以植株为中心取3个样点,每个样点分0~20、20~40、40~60、60~80、80~100 cm共5个土层深度,每个处理重复3次。

1.3 测试项目与方法 分别在冬小麦越冬期、拔节期、抽穗期、成熟期用根钻取样。根钻钻头直径为9 cm,长20 cm。按要求取出根系装入尼龙网袋后在水中浸泡30 min,然后再用自来水冲洗干净,用镊子去除杂质和杂根,之后将其按照不同土层平铺在根系扫描盘上,经根系扫描仪灰度模式扫描并以图形文件格式存储到计算机中,再用WinRHIZO根系分析软件进行分析,从而获得各处理不同阶段不同土层的根长、根平均直径,然后将根系分别装入信封,105℃下杀青30 min,80℃下烘干至恒重,测定各层次根干重,即得根干质量。

$$\text{根长密度(RLD, cm/cm}^3\text{)} = L/V \quad (1)$$

式中, L 为不同土层待测根样经软件分析所得根长结果(cm), V 为取根土壤体积,并由下面公式(2)求得。

$$V = sh \quad (2)$$

式中, s 取根土壤面积, h 为取样深度。

$$S = \pi r^2 \quad (3)$$

式中, r 为土柱半径(cm), $r = 4.5$ (cm)。

$$\text{根表面积(RSA, cm}^2\text{)} = \pi RL \quad (4)$$

式中, R 为根系平均直径(cm)。

$$\text{根干质量密度(RDWD, g/m}^3\text{)} = M/V \times 10^6 \quad (5)$$

式中, M 为不同土层待测根系烘干后质重(g), V 为取根土壤体积,由公式(2)求得。

1.4 数据处理 采用Excel 2003进行数据整理并制图。

2 结果与分析

2.1 不同处理冬小麦根长密度时空分布 不同生育时期冬小麦0~100 cm土层深度根长密度结果见图1。由图1可知,随着生育进程的推进,根长密度先增加后减小,抽穗期达最高峰。拔节期不同密度处理根长密度均呈缓慢增长趋势,各处理间无显著差异,M2、M4处理增长较快。拔节期到抽穗期根长密度增长显著,表现为M1处理>M3处理>M4处理>M5处理>M2处理,根长密度随密度变稀呈减小趋势。不同密度处理的根长密度都在抽穗期达到最大值,说明拔节期至抽穗期是根系生长最旺盛的时期。成熟期根长密度迅速减小,随密度变稀根长密度减小越快。

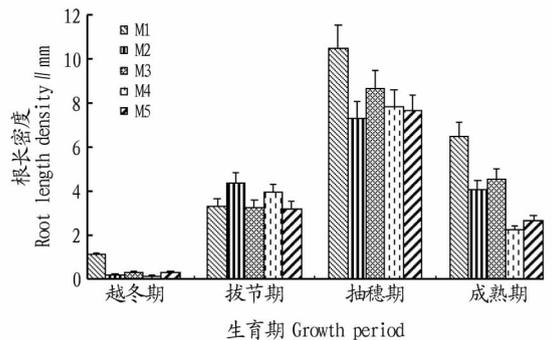


图1 不同处理对各生育时期0~100 cm土层冬小麦根长密度的影响

Fig.1 Effects of different treatments on root length density of winter wheat at 0-100 cm soil layer at different growth stages

不同生育时期冬小麦不同土层单位体积总根长结果见图2。从图2可以看出,各生育时期根长密度随土层加深而

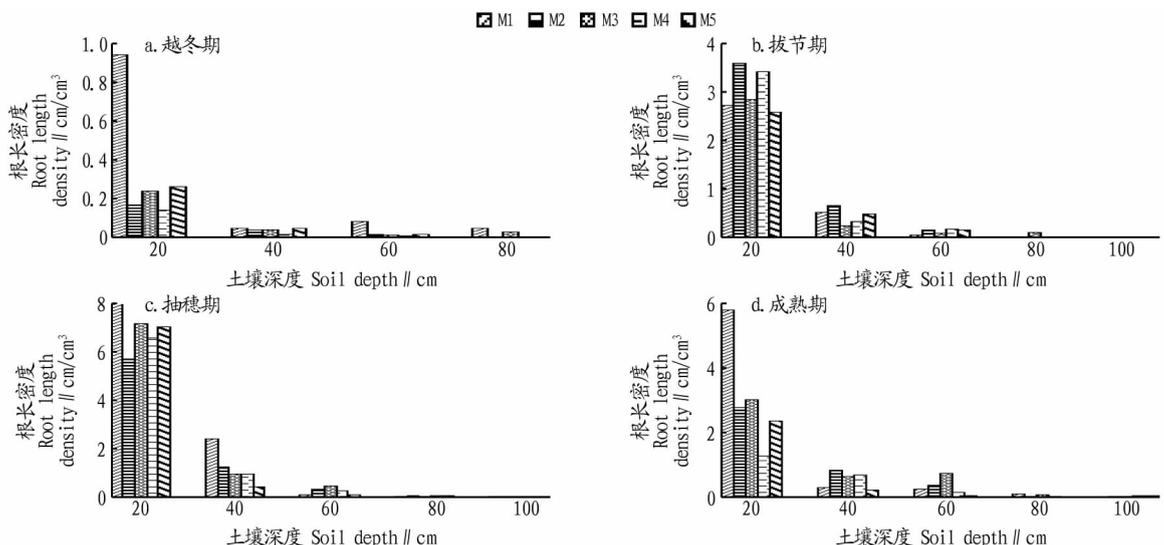


图2 不同生育时期冬小麦根长密度垂直分布

Fig.2 Vertical distribution of root length density of winter wheat at different growth stages

逐渐减小,0~60 cm 土层深度根长占总根长的 96.59%。拔节期和抽穗期的根长分别占总根长的 21.57%和 51.9%。随着生育进程的推进,各层根长密度呈先增后减的趋势,在抽穗期达到最大值,成熟期根长密度开始迅速减小,说明成熟期根系生长速度减缓并衰亡。越冬期土壤各层中均表现为 M1 处理根长密度最大,而其他密度处理差别不大。拔节期 0~40 cm 土层深度根长密度 M2、M4 处理较大,20~40 cm 土层深度 M2 处理根长密度最大,40~60 cm, M2、M4、M5 处理根长密度较长。抽穗期在 0~40 cm 土层深度各处理的根长密度均达到最大值, M1 处理增长速度最快、增值最大,20~40 cm 土层深度随种植密度变稀,根长密度变小,40~60 cm 土层深度根长密度随种植密度变稀,呈先增后减。成熟期 M1 处理的根长密度最大,40~60 cm 土层深度随种植密度变稀,根长密度先增后减, M2、M3 处理根长密度较大。

2.2 不同处理冬小麦根表面积时空分布 不同生育时期冬小麦 0~100 cm 土层深度根表面积结果见图 3。由图 3 可知,随着生育进程的推进,根表面积先增加后下降,抽穗期达最高峰。拔节期不同密度处理根长密度均呈缓慢增长状态,各处理间无显著差异。拔节期到抽穗期根表面积增长显著,表现为 M1 处理 > M2 处理 = M3 处理 > M4 处理 > M5 处理。根表

面积随密度变稀呈减小趋势。不同密度处理的根表面积都在抽穗期达到最大值,说明拔节期至抽穗期是根系快速生长期。成熟期根表面积迅速减小。

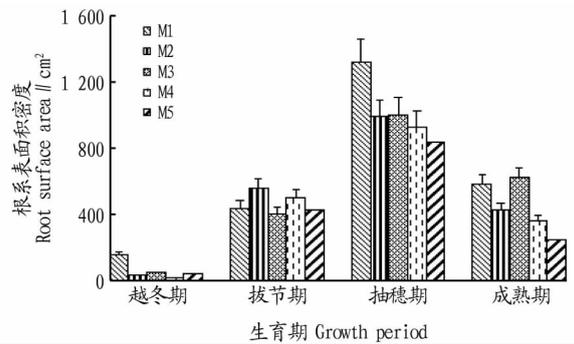


图 3 不同处理对各生育时期 0~100 cm 土层冬小麦根表面积的影响

Fig.3 Effects of different treatments on root surface area of winter wheat at 0~100 cm soil layer at different growth stages

不同生育时期冬小麦根表面积垂直分布见图 4。从图 4 可以看出,各生育时期根表面积随土层加深而递减,0~60 cm 土层深度根表面积占总根系面积的 95.21%。拔节期和抽穗期的根长分别占总根长的 23.84%和 49.35%。随着生育进程

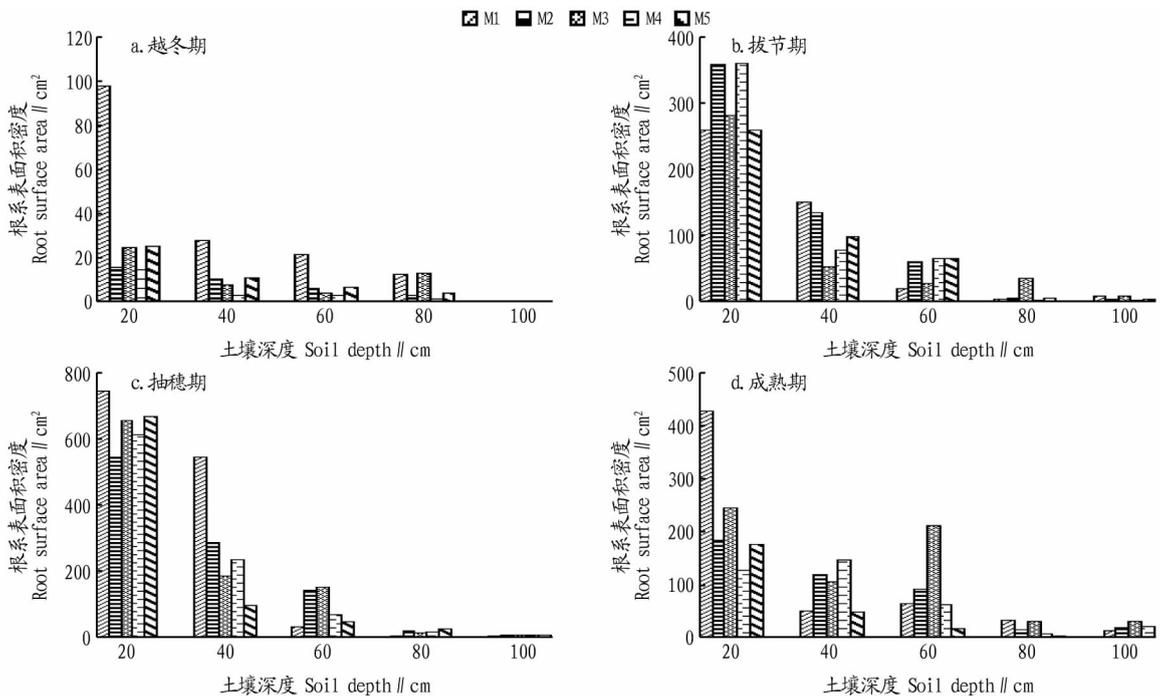


图 4 不同生育时期冬小麦根表面积垂直分布

Fig.4 Vertical distribution of winter wheat root surface area at different growth stages

的推进,各层根表面积呈先增后减的趋势,在抽穗期达到最大值,成熟期根表面积开始迅速减小,说明成熟期根系生长减缓并衰亡。越冬期土壤各层中 M1 处理根表面积均为最大值。拔节期 0~40 cm 土层深度根表面积增大速度表现为随密度变稠而减小;40~60 cm 土层深度根表面积随密度变稀而增加;60~100 cm 土层深度,根表面积表现为随密度增加而先增后降,至 M3 处理最高。抽穗期在 0~20 cm 土层深度各密度的根表面积均达到最大值,0~40 cm 土层深度中 M1、

M2 处理根表面积最大,随种植密度变稀根表面积递减,40~60 cm 土层深度 M2 处理根表面积较大。成熟期 20~60 cm 土层深度随种植密度变稀根表面积先减后增,60~80 cm 土层深度 M3 处理根系生长较好。

2.3 不同处理冬小麦根系干质量密度时空分布 不同生育时期冬小麦根干质量密度垂直分布见图 5。由图 5 可知,随着生育进程的推进,根干质量密度先增加后下降。越冬期 M1 处理根干质量密度最大;拔节期不同密度处理根干质量

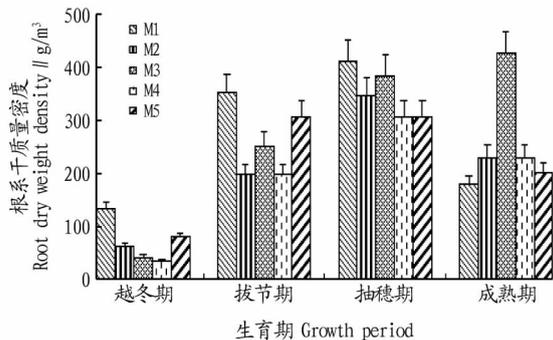


图5 不同处理对各生育时期0~100 cm 土层根干质量密度的影响
Fig.5 Effects of different treatments on root dry weight density of winter wheat at 0~100 cm soil layer at different growth stages

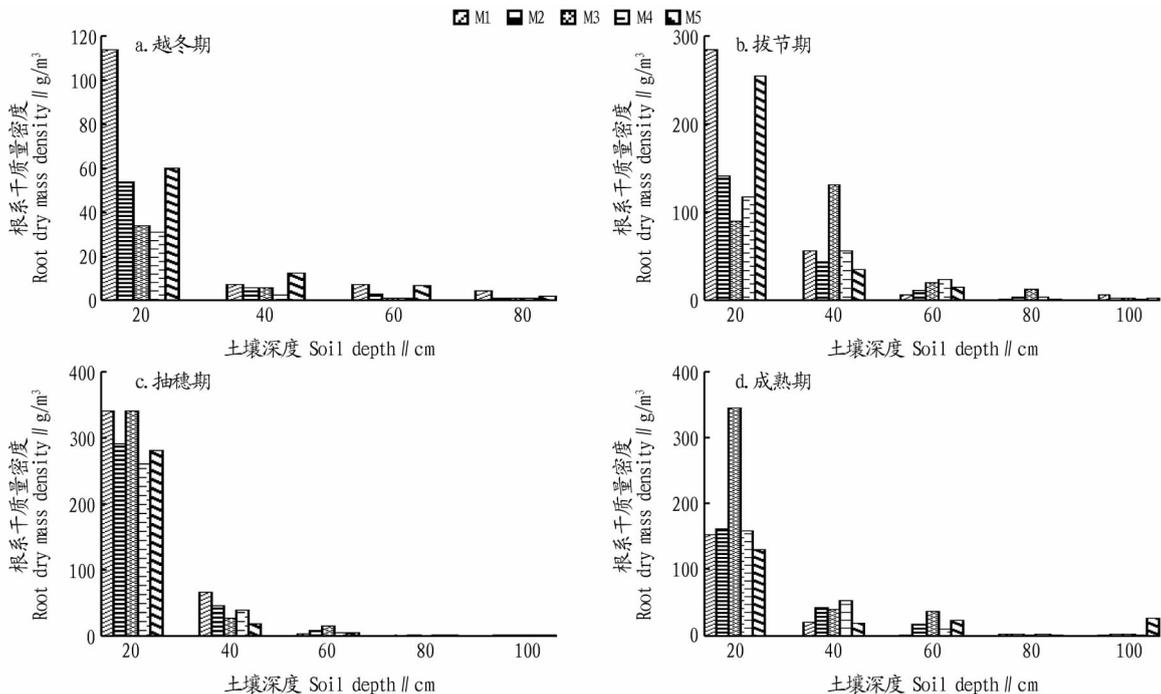


图6 不同生育时期根干质量密度垂直分布

Fig.6 Vertical distribution of root dry weight density at different growth stages

大值,成熟期根干质量密度开始迅速减小。越冬期土壤各层中根干质量密度均随种植密度增加表现为先减后增;拔节期,0~40 cm 土层深度根干质量密度增大速度表现为随密度变稠而减小,M5 处理增长最快,20~40 cm、60~80 cm 土层深度 M3 处理增长最快;抽穗期在0~40 cm 土层深度各密度的根干质量密度均达到高峰,M1 处理根干质量密度最大,20~40 cm 土层根干质量密度随种植密度变稀表现为先增后减,M4 处理根干质量密度达最大。成熟期 M3 处理根系依然在生长。

3 结论与讨论

根系分布影响营养、水分吸收,根系生长发育与作物产量有相关性^[22],该研究各密度处理根长密度、根表面积在拔节期和抽穗期均表现出种植密度越稠增加越多,成熟期表现出种植密度越稠减小越慢,而较缓的根系衰老有助于小麦粒质量增加^[23]。新冬 22 号匀播越冬期高密度有利于根系生长,这与刘殿英^[24]提出冬小麦生根量生育前期与密度呈正相关一致。

密度迅速增长,各处理间根干质量密度增长无显著差异;抽穗期根干质量密度依然处于高峰,表现为 M1 处理>M3 处理>M2 处理>M4 处理>M5 处理,差异不显著;不同密度处理的根干质量密度在拔节期、抽穗期达到最大值,说明拔节期至抽穗期是根系生长最旺盛的时期;成熟期根干质量密度除 M3 处理依然增加外,其他处理都迅速减小。

不同生育时期冬小麦根干质量垂直分布见图 6。从图 6 可以看出,各生育时期根干质量密度除 M3 处理一直增加外,其他密度处理的根干质量密度都随土层加深而递减,0~60 cm 土层深度根干质量密度占总根干质量密度的 94.39%。拔节期和抽穗期的根干质量密度分别占总根干质量密度的 34.31%和 32.41%。随着生育进程推进,除 M3 处理一直增加外,各层根干质量密度呈先增后减的趋势,在抽穗期达到最

一些研究认为,小麦根系多分布在 0~60 cm,该试验结果新冬 22 号匀播旱灌区根系生长集中分布在 0~60 cm 土层深度,这之前研究结果一致,并与产量呈显著正相关。M2 处理根系深层生长在不同生育期都优于其他处理,这与产量结果相符,说明小麦产量与深层根系关系密切^[25]。

冬小麦根系随着土壤深度的增加,根长密度、根系表面积、根干质量密度减小;拔节期 0~60 cm 土层深度根长密度、根表面积增大速度表现为随密度变稠而减小,在整个土壤剖面上,随着种植密度增稠,根系各指标降低速度加快。随着冬小麦密度的变稠,根系根长密度、根表面积增加,且在抽穗时达最高值,这与其他研究人员的研究结果一致^[25],根长密度是单位土体中根的长度,是根系生长强弱的 1 个指标。卢振民等^[23]指出,根长密度各生育期呈指数分布的相关性都很好。小麦根系表面积的大小表明根系活性高低。该试验

(下转第 47 页)

过采用现代节水高效种植技术,改善栽培措施等方法使性状值得到较大幅度的提高,从而提升作物生产能力和收益率。

3.2 主成分分析及综合评价方法科学 第一主成分标准化特征主要反映品种的丰产性和稳定性。其有效穗数、穗粗和产量的因子信息,其中产量、穗数和穗粗特征值向量分别为0.471、0.468、0.466,说明有效穗数和穗粗与产量呈显著正相关;第二主成分主要反映品种的增产性对穗重、穗粒重和出谷率等因子信息,其中穗粒重、穗重和出谷率特征向量值分别为0.603、0.591和0.451,说明穗重、穗粒重和出谷率与产量呈正相关;第三主成分反映谷子品种适应性对株高和成熟性影响因子信息,其中千粒重和株高特征向量值分别为0.710和0.618。说明作物品种生态适应性决定能否在该地区推广应用,作物株高在一定程度上可反映品种的抗旱性和抗逆性,进而灌浆速度和成熟度决定千粒重对产量的贡献程度。

对11个谷子品种农艺性状进行主成分分析和综合得分及综合评价,筛选出适宜在半干旱区可进行大面积示范和推广的4个品种,依次为张杂谷13、白良谷、陇谷13和晋谷40(适合在中部干旱带有补充灌溉区种植)。主成分分析方法能较全面地评价谷子品种的优劣,对在生产中综合判断和选择优良品种具有重要科技支撑作用。

3.3 建议 评价一个品种不仅要看产量水平,更要全面考察品种的丰产性、增产性、稳定性、抗逆性和生态适应性等多项

指标,要经受多种干旱气候年份的考验才能科学评价品种的优劣。由于2019年为丰水年份早霜来临较迟,冀杂金谷、晋谷40和金苗K1等晚熟品种基本正常成熟,但在生产中仍有一定的风险性。如晋谷40属晚熟品种,生育期达142d左右,在半干旱区旱地种植风险性较大,建议在宁夏中部干旱半干旱区的引黄灌溉区推广种植。张杂谷13、白良谷和陇谷13属中早熟品种,在半干旱区可进行大面积种植推广。

参考文献

- [1] 邓维斌,周玉敏,刘进,等.SPSS 23 统计分析实用教程[M].2版.北京:电子工业出版社,2018.
- [2] 赵鹏飞,刘俊,胡少敏.基于SPSS软件的主成分分析法在水质评价中的应用[J].科技创业,2016,29(10):119-121,125.
- [3] 李健,张媛媛,张敏,等.基于主成分分析方法的蓝莓矿质营养吸收综合评价[J].江苏农业科学,2020,48(1):139-142.
- [4] 刘敏,史战红.基于主成分分析法的甘南经济发展水平评价[J].甘肃科技,2018,34(23):61-63.
- [5] 张子龙,王文全,缪作清,等.主成分分析在三七连作土壤质量综合评价中的应用[J].生态学杂志,2013,32(6):1636-1644.
- [6] 苗泽志,韩浩坤,杜伟建,等.杂交谷子产量及品质相关性性状的主成分分析[J].山西农业科学,2013,41(8):785-788,812.
- [7] 方路斌,罗河月,陈洁,等.谷子主要农艺性状的相关和主成分分析[J].天津农业科学,2018,24(11):62-65.
- [8] 鲍学英,李海连,王起才.基于灰色关联分析和主成分分析组合权重的确定方法研究[J].数学的实践与认识,2016,46(9):129-134.
- [9] 张玉.SPSS软件和主成分分析法在牧草营养价值评价中的应用[J].安徽农业科学,2012,40(12):7186-7188.
- [10] 陈龙,陈婷,袁莹静,等.基于SPSS的我国各省市自治区经济发展状况分析[J].软件,2019,40(2):121-128.
- [11] 段国辉,田文仲,温红霞,等.不同基因型冬小麦根系生长及产量的差异[J].大麦与谷类科学,2018,35(2):25-28.
- [12] 方燕,徐炳成,谷艳杰,等.密度和修剪对冬小麦根系时空分布和产量的影响[J].生态学报,2015,35(6):1820-1828.
- [13] 王永华,王玉杰,冯伟,等.两种气候年份下不同栽培模式对冬小麦根系时空分布及产量的影响[J].中国农业科学,2012,45(14):2826-2837.
- [14] 严银花,祁静玉,罗雪梅,等.不同供氮水平下滴灌春小麦根系生理特性的变化[J].江苏农业科学,2020,48(1):89-96.
- [15] 沈玉芳,李世清.施肥深度对不同水分条件下冬小麦根系特征及提水作用的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2019,47(4):65-73.
- [16] 薛丽华,赵连连,陈兴武,等.不同水氮运筹对滴灌冬小麦根系生长、水分利用及产量的影响[J].中国农业大学学报,2017,22(9):21-31.
- [17] 张向前,曹丰富,乔玉强.不同灌水方式对小麦根系、光合及品质的影响[J].华北农学报,2016,31(1):212-217.
- [18] 侯慧芝,黄高宝,郭清毅,等.干旱灌区冬小麦根系的生长冗余[J].生态学杂志,2007,26(9):1407-1411.
- [19] WADDINGTON J.Observation of plant roots *in situ*[J].Canadian journal of botany,1971,49(10):1850-1852.
- [20] 阎素红,杨兆生,王俊娟,等.不同类型小麦品种根系生长特性研究[J].中国农业科学,2002,35(8):906-910.
- [21] 田中伟,樊永惠,殷美,等.长江中下游小麦品种根系改良特征及其与产量的关系[J].作物学报,2015,41(4):613-622.
- [22] 高砚亮,孙占祥,白伟,等.玉米花生间作系统作物产量及根系空间分布特征的影响[J].玉米科学,2016,24(6):79-87.
- [23] 卢振民,熊勤学.冬小麦根系各种参数垂直分布实验研究[J].应用生态学报,1991,2(2):127-133.
- [24] 刘殿英.种植密度对冬小麦根系的影响[J].山东农业大学学报,1987,18(3):29-35.
- [25] 王永华.不同栽培管理模式下冬小麦根群构建与水氮利用及产量的关系研究[D].郑州:河南农业大学,2014.

(上接第42页)

结果表明,根系各项指标随小麦生育进程发展呈先升高后下降的变化趋势,并且除根干质量密度是在拔节期达到最大值外,其余指标均是拔节到抽穗期生长最快,各处理根系整体生长状态为M2处理>M3处理>M1处理>M4处理>M5处理,说明过密或者过稀的匀播密度都不利于新冬22号根系生长发育,该试验中最适宜的匀播密度为M2密度处理。

参考文献

- [1] 邱新强,高阳,黄玲,等.冬小麦根系形态性状及分布[J].中国农业科学,2013,46(11):2211-2219.
- [2] 陈智勇,谢迎新,张阳阳,等.小麦根长密度和根干重密度对氮肥的响应及其与产量的关系[J].麦类作物学报,2020,40(10):1223-1231.
- [3] 梅四卫,朱涵珍,王术,等.小麦根系研究现状及展望[J].基因组学与应用生物学,2018,37(12):5448-5454.
- [4] 方燕,闵东红,高欣,等.不同抗旱性冬小麦根系时空分布与产量的关系[J].生态学报,2019,39(8):2922-2934.
- [5] HAMMER G L,DONG Z S,MCLEAN G,et al.Can changes in canopy and/or root system architecture explain historical maize yield trends in the U.S. corn belt? [J].Crop science,2009,49(1):299-312.
- [6] 吕国红,谢艳兵,温日红,等.东北玉米根系生物量模型的构建[J].中国生态农业学报,2019,27(4):572-580.
- [7] 陈猛,梁雪齐,李玲,等.种植密度对匀播冬小麦干物质积累、运转及产量的影响[J].麦类作物学报,2021,41(2):238-244.
- [8] 张永强,方辉,范贵强,等.一体化匀播技术对冬小麦生长发育及产量的影响[J].新疆农业科学,2020,57(3):427-433.
- [9] ANSARI M A,MEMON H R,TUNIO S D,et al.Effect of planting pattern on growth and yield of wheat[J].Pakistan journal of agriculture,agricultural engineering and veterinary sciences,2006,22(2):6-11.
- [10] 苗青霞,方燕,陈应龙.小麦根系特征对干旱胁迫的响应[J].植物学