

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2023.09.002

张瑞丰, 张智勇, 陶建波, 等. 不同种植模式对重庆荞麦产量和发育的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(9): 12-24.

不同种植模式对重庆荞麦产量和发育的影响

张瑞丰, 张智勇, 陶建波, 王艺钢,
雷蕾, 阮仁武, 易泽林

西南大学 农学与生物科技学院, 重庆 400715

摘要: 荞麦是我国传统的药食两用作物, 具有丰富的营养价值和独特的保健作用. 近年来, 荞麦在重庆地区广泛种植, 但其与不同作物轮作的种植模式对荞麦生长和生物特性的影响鲜有报道. 本试验以荞麦-大豆轮作(A1)、荞麦连作(A2)和荞麦-小麦轮作(A3)为主区处理, 以酉荞 2 号(YQ2, B1)、乌克兰大粒荞(W, B2)、酉荞 1 号(YQ1, B3)和九江苦荞(J, B4)4 种不同荞麦品种为裂区处理, 在重庆市北碚区进行了为期 3 年的定位试验, 以研究不同种植模式对荞麦产量构成、植株形态和根系指标的影响, 主要研究结果为: ① 荞麦-大豆轮作下荞麦籽粒产量高于荞麦-小麦轮作处理, 高于荞麦连作处理, 且轮作使荞麦的单株粒数增加, 单株粒重增大, 千粒重也随之增加. ② 同一生育时期, 各荞麦品种在轮作模式下荞麦株高、地上部鲜质量和干质量获得最大值. 相比于连作, 轮作促进荞麦的增高、地上部鲜质量和干质量的增加. ③ 荞麦轮作处理下的根系生物量的积累速率、根平均直径、总根长、总根体积、总根表面积和根尖数均高于连作处理, 且在荞麦-大豆轮作下能获得最大值. 综上, 在本试验条件下, 荞麦-大豆轮作模式有利于促进荞麦生长, 提高荞麦产量, 适合在重庆地区推广.

关键词: 荞麦; 种植模式; 轮作; 连作; 生长发育; 产量

中图分类号: S517

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2023)09-0012-13

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effect of Different Planting Patterns on Yield and Plant Growth of Buckwheat in Chongqing

ZHANG Ruifeng, ZHANG Zhiyong, TAO Jianbo,
WANG Yigang, LEI Lei, RUAN Renwu, YI Zelin

College of Agronomy and Biotechnology, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: Buckwheat is a traditional medicinal and edible crop in China, with rich nutritional value and unique health benefits. In recent years, buckwheat has been widely planted in the Chongqing region, but

收稿日期: 2023-05-31

基金项目: 农业农村部荞麦种植资源重要农艺性状精准鉴定项目(19221986); 重庆市委荞麦技术产业体系项目(202201).

作者简介: 张瑞丰, 硕士研究生, 主要从事作物栽培制度研究.

通信作者: 易泽林, 教授, 硕士研究生导师.

there are few reports on the impact of its rotation with different crops on the growth and biological characteristics of buckwheat. This experiment used buckwheat soybean rotation (A1), buckwheat continuous cropping (A2), and buckwheat wheat rotation (A3) as the main treatment areas. Four different buckwheat varieties, Youqiao No. 2 (YQ2, B1), Ukrainian large grain buckwheat (W, B2), Youqiao No. 1 (YQ1, B3), and Jiujiangkuqiao (J, B4), were used as split zone treatments. A 3-year positioning experiment was conducted to study the effects of different planting modes on buckwheat yield composition, plant morphology and root system indicators in Beibei District, Chongqing. The main research results are as follows: ① Under the buckwheat soybean rotation, the grain yield of buckwheat is higher than that of the buckwheat wheat rotation treatment, and higher than that of the buckwheat continuous cropping treatment. Moreover, rotation increases the number of grains per plant and grain weight per plant and a corresponding increase in thousand-grain weight. ② During the same growth period, various buckwheat varieties achieve the maximum values of buckwheat plant height, aboveground fresh weight, and dry weight under rotation mode. Compared to continuous cropping, rotation promotes the increase of buckwheat yield, as well as the increase of fresh and dry aboveground weight. ③ The accumulation rate, average root diameter, total root length, total root volume, total root surface area, and root tip number of root biomass under buckwheat rotation treatment are higher than those under continuous cropping treatment, and the maximum value can be obtained under buckwheat soybean rotation. In summary, under the conditions of this experiment, the buckwheat soybean rotation model is beneficial for promoting buckwheat growth and increasing buckwheat yield, and is suitable for promotion in Chongqing.

Key words: buckwheat; planting patterns; crop rotation; continuous cropping; plant growth; yield

荞麦属于蓼科(Polygonaceae)荞麦属(*Fagopyrum*),是一种起源于我国,具有悠久栽培历史的药食两用作物,目前我国主要有甜荞、苦荞两个栽培品种,在全国范围内广泛种植^[1].荞麦的营养价值丰富,含有多蛋白质、氨基酸、膳食纤维^[2],而不饱和脂肪酸以及硼、碘、硒等多种微量元素的含量远高于水稻、小麦等主要粮食作物^[3].更重要的是,荞麦中还含有以芦丁为主的多种黄酮类物质,具有抗氧化、消炎、降血脂等多方面的功效,经常食用,对包括“三高”在内的人体多种慢性疾病有预防和辅助治疗的作用^[4].

荞麦具有生育期短、抗逆性强、耐瘠薄的特点^[5],适宜种植于地形条件复杂、环境较差的地区.我国是世界上荞麦种植面积最大的栽培国之一,全国荞麦的产区主要集中在西南、西北、华北等的高寒或高海拔地区^[1].近年来,世界荞麦需求日益增加,国际荞麦价格远高于国内,我国作为荞麦生产及出口大国,生产的荞麦产品更具备国际竞争优势和发展潜力^[6].在重庆地区,甜荞、苦荞都有一定的种植面积,以苦荞为主,但缺乏系统的种植模式,农民主要采用自留种,田间管理较为粗放.因此研究不同种植模式对荞麦产量及发育的影响,为系统种植荞麦从而提升其单产提供理论依据,具有现实指导意义.

种植模式是指在一年内在同一农田上采用特定的作物结构与时空配置的规范化种植方式.其中作物轮作和连作是两种常见的种植方式.连作指常年在同一地块连续种植相同或相似作物的种植模式,亦叫做重茬^[7].相同地块上,多年来连续种植同一种作物,即使对于田间作物仍进行正常的管理,也同样还是会出现田间作物的生长发育状况恶化、病虫害现象加重、产量连续下降、作物籽粒品质变劣的现象,这被称为连作障碍现象.荞麦的连作障碍较为严重,多年连续种植后,地上部干质量下降、叶片对活性氧的代谢速率减慢使其快速衰老,使成熟期荞麦籽粒产量降低、品质变差和生长发育状况极度恶劣^[8-9].因此,荞麦忌连作,应依据当地气候条件,合理地轮作倒茬,以提高综合效益并避免连作障碍.但在重庆的荞麦生产实践中,荞麦与不同作物轮作对于产量和荞麦生长发育的相关研究还较为缺乏.本研究选择大豆、小麦作为不同茬口,通过2018—2020年的多年试验,对4个不同荞麦品种的产量及产量构成

因素、植株形态和根系指标进行了测定,以此来探究重庆地区适宜的荞麦种植模式,以期荞麦产业的进一步发展提供理论支撑.

1 材料与方法

1.1 试验基本情况

1.1.1 试验地概况

试验于 2018—2020 年在重庆市北碚区歇马科研基地(19°51'N, 106°37'E)进行,该试验基地属亚热带季风性气候,平均海拔为 350 m,年平均气温 18.7 ℃,多年平均降水量 880 mm,降雨主要集中在每年 5—9 月,试验地土壤为沙壤土,2018 年播种前试验地土壤概况见表 1.

表 1 试验地土壤概况

年份	pH	全氮/ %	全磷/ (mg · g ⁻¹)	全钾/ (mg · g ⁻¹)	碱解氮/ (mg · kg ⁻¹)	速效磷/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)	有机质/ (mg · g ⁻¹)
2018	5.00	11.59	0.73	0.96	18.90	69.90	66.20	185.40

1.1.2 试验材料

本试验选用荞麦品种为西荞 2 号(YQ2),乌克兰大粒荞(W),西荞 1 号(YQ1),九江苦荞(J);轮作小麦品种为川麦 42;轮作大豆品种为西豆 8 号. 试验选用的各作物品种均由西南大学农学与生物科技学院特色作物研究所提供.

1.1.3 试验设计

本试验采用裂区试验设计,主区为 3 种不同的种植模式,分别为大豆-荞麦轮作(A1, D3)、荞麦连作(A2, D2)和小麦-荞麦轮作(A3, D1). 裂区为 4 种不同的荞麦品种,分别为两个甜荞品种西荞 2 号(YQ2, B1)、乌克兰大粒荞(W, B2),两个苦荞品种西荞 1 号(YQ1, B3)、九江苦荞(J, B4). 小区面积 6 m²(3 m×2 m),试验设置 3 次重复. 播种前两天在固定试验地块整地. 秋季荞麦于每年 8 月底播种,12 月初收获;春季连作荞麦于 2 月末播种,5 月末收获. 各品种种植密度均为 90 万株/hm²,每小区播种 5 行,行距 0.33 m,各小区间隔 0.5 m,播种行与区组走向垂直,试验地 4 周播种 3 行保护行,播种前一次性施总养分≥45%的高浓度硫酸钾复合肥(含 N 15%、P₂O₅ 15%、K₂O 15%)300 kg/hm² 作为种肥,并按常规管理. 轮作大豆于每年 3 月下旬播种,7 月上旬收获;轮作小麦于每年 12 月中旬播种,次年 5 月中旬收获.

1.2 取样、测定项目和方法

1.2.1 荞麦植株地上部分测定

分别在荞麦开花期、灌浆期和成熟期随机选取 10 株长势一致且未倒伏的植株,贴近地表用剪刀剪取植株,用于测定荞麦地上部分鲜质量. 株高测量:量取荞麦茎秆基部至该茎顶端的距离,即为株高(cm);植株干质量:将采集的荞麦植株放于 80 ℃恒温干燥箱中烘干至恒质量.

1.2.2 荞麦产量及产量构成因素测定

待田间荞麦籽粒中 70%~80%成熟时每个小区单独收获,风干后(含水量≤14%)脱粒实测小区产量,折合成公顷产量. 并在每个小区随机取 10 株长势一致的植株,测定单株的粒数、粒质量、千粒质量. 每个小区 3 次重复,取平均值.

1.2.3 荞麦根系特征测定

分别于开花期、灌浆期和成熟期对每个小区取样. 用剪刀剪去荞麦茎秆第一节间以上部分,参照王静等^[10]的方法加以修改,用小铲挖取以植株为中心,长、宽各 20 cm,深 30 cm 的土块,装入孔径为 0.4 mm 的尼龙网袋中,浸泡 24 h,然后用流水轻轻冲洗干净,取得完整根系. 清洗干净的根系,放入中晶 8370 扫描仪的专用透明塑料托盘中,并用蒸馏水浸没,放入扫描仪,静止状态下用镊子慢慢将根系分散展开,然

后进行扫描. 用 GXY-A 软件对扫描得到的根系图片进行数据分析, 获得总根长、根总表面积、根总体积、平均根直径和根尖数等指标参数. 测定完根系形态指标后取出根系并于 80 ℃ 下烘干至恒质量, 然后使用精度为 0.001 g 的电子天平测量根系干物质质量.

1.3 数据分析

用 Excel 2019 对数据进行初步整理和汇总及作图, 通过 DPS 7.05 和 SPSS 25.0 进行进一步数据统计分析, 用 R 语言和 Origin 2021 作图, 利用 LSD 法进行显著性分析, 并利用典型相关法进行相关性分析.

2 结果与分析

2.1 3 种不同种植模式对荞麦产量及产量构成因素的影响

由图 1 可知, 荞麦-大豆轮作下荞麦籽粒产量高于荞麦-小麦轮作处理, 再高于荞麦连作处理, 3 种不同种植模式下荞麦籽粒产量差异显著($p<0.05$). 不同品种的荞麦在连作模式下, 产量均逐年降低, 西荞 2 号、乌克兰大粒荞、西荞 1 号和九江苦荞经过 3 年的连作, 其产量由 2018 年的 978.31 kg/hm² 降低为 2020 年的 880.63 kg/hm², 平均降低了 97.68 kg/hm², 减产幅度达到 9.98%.

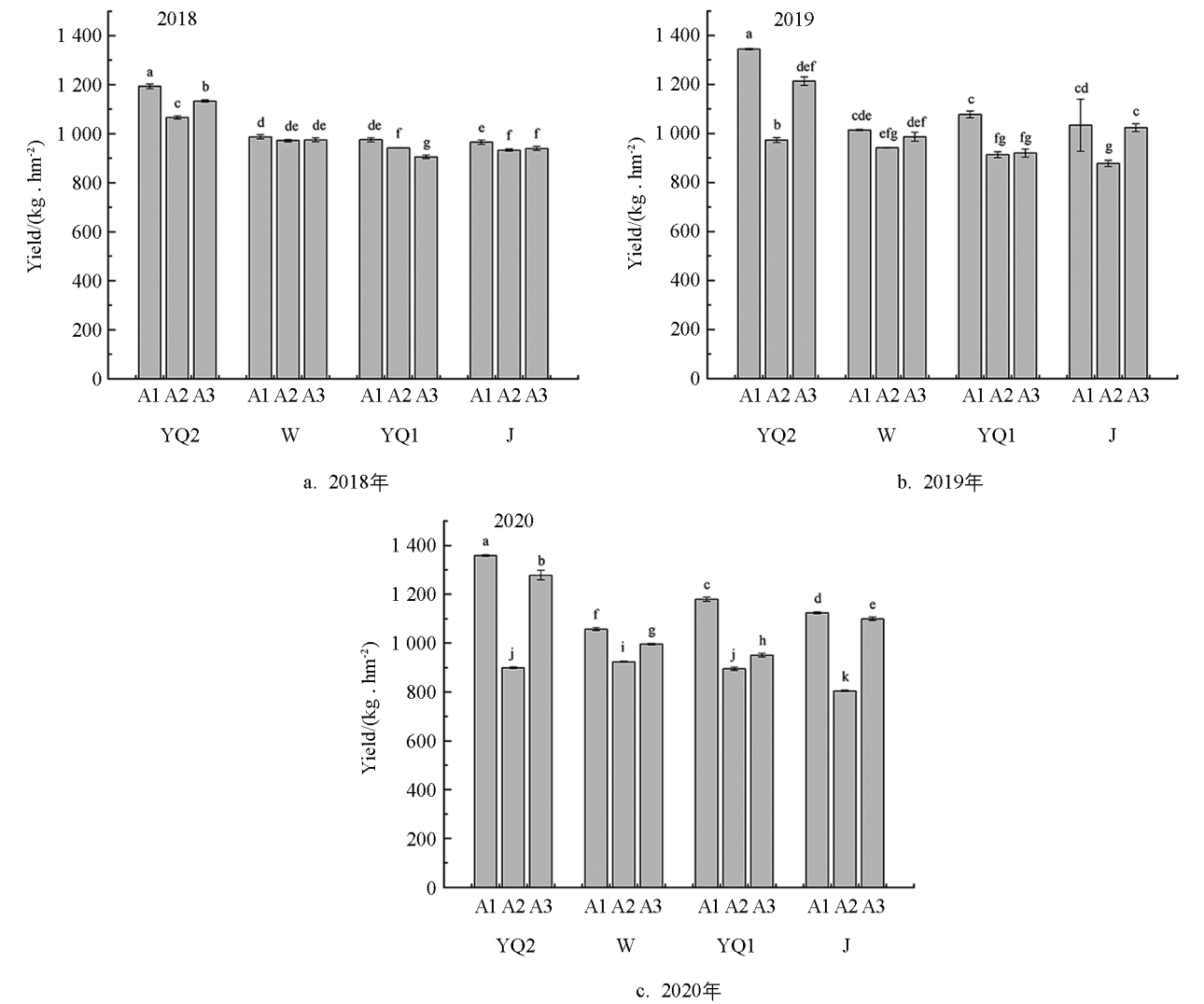


图 1 3 种不同种植模式对荞麦产量的影响

在轮作模式下,随着轮作年限的增加,荞麦各品种的籽粒产量均有所提高. 4 个不同的荞麦品种经过 3 年的荞麦-大豆轮作,其产量达到 1 180.42 kg/hm²,平均提高了 150.10 kg/hm²,其增产幅度为 14.57%. 在荞麦-小麦轮作模式下,4 个不同的荞麦品种经过 3 年轮作,其产量为 1081.19 kg/hm²,平均提高了 92.82 kg/hm²,增产幅度为 9.39%. 连作阻碍了荞麦籽粒的高产,轮作促进荞麦产量的提升,且荞麦-大豆轮作比荞麦-小麦轮作更易使荞麦籽粒获得高产.

由表 2、表 3、表 4 可知,同一种植模式下荞麦不同品种间籽粒产量差异显著,不同种植模式和荞麦品种间的相互作用对产量有极显著影响($p<0.01$). 4 个不同荞麦品种,均是在荞麦-大豆轮作制度下获得最高产量,其中西荞 2 号产量最高(1359.02 kg/hm²). 从各产量构成因素来看,3 年间不同种植模式对荞麦成熟期单株粒数和单株粒质量均呈显著影响($p<0.05$),2018 年和 2019 年不同种植模式对荞麦千粒质量无显著影响,而 2020 年荞麦种植模式对千粒质量的影响呈现显著. 荞麦各产量性状均呈现品种间的差异,且达到显著. 不同种植模式和荞麦品种间的相互作用对荞麦单株粒数有极显著影响($p<0.01$). 相比于荞麦连作,轮作使荞麦的单株粒数增加,单株粒质量增加,千粒质量也随之增加. 荞麦各产量性状在不同种植模式下的表现,荞麦-大豆轮作处理优于荞麦-小麦轮作处理,再优于荞麦连作处理.

表 2 2018 年 3 种不同种植模式对荞麦产量及产量构成因素的影响

处理	产量/(kg·hm ⁻²)	单株粒数	单株粒质量/g	千粒质量/g
T1	1 193.33±9.43a	197.87±6.57c	4.84±0.38abcd	25.41±0.81abc
T2	987.33±8.26d	197.69±6.40c	6.63±1.48a	32.51±0.86a
T3	975.27±8.09de	318.61±9.61a	5.68±0.30ab	17.83±1.08cd
T4	965.33±8.73e	263.37±47.12b	5.52±0.34abc	21.78±4.57bcd
T5	1 066.22±7.03c	154.92±3.63d	1.58±0.23e	24.88±0.59bcd
T6	971.79±5.36de	188.80±2.90c	2.82±1.27de	27.84±0.40ab
T7	941.88±0.94f	202.13±7.61c	3.43±1.04cde	17.15±5.51d
T8	933.33±4.71f	171.76±2.88cd	1.85±0.73e	17.48±0.49d
T9	1 133.33±4.71b	183.80±4.78cd	5.30±0.33abc	26.79±1.09ab
T10	974.93±8.31de	192.78±6.72c	4.53±0.21bcd	23.49±0.29bcd
T11	905.22±7.26g	240.65±4.04b	4.22±1.82bcd	17.65±7.89d
T12	940±8.16f	196.12±4.19c	3.61±0.74bcde	18.32±3.48cd
A1	1 030.32±94.44a	244.39±50.53a	5.67±0.64a	24.38±5.40a
A2	978.31±52.73c	179.40±17.77c	2.42±0.74b	21.84±4.64a
A3	988.37±87.25b	203.34±22.00b	4.42±0.61a	21.56±3.77a

注: A1、A2、A3 为荞麦-大豆轮作处理、荞麦连作处理和荞麦-小麦轮作处理,数据为 12 次重复的平均值±标准差. T1 为荞麦-大豆轮作下西荞 2 号处理, T2 为荞麦-大豆轮作下乌克兰大粒荞处理, T3 为荞麦-大豆轮作下西荞 1 号处理, T4 为荞麦-大豆轮作下九江苦荞处理. T5 为荞麦连作下西荞 2 号处理, T6 为荞麦连作下乌克兰大粒荞处理, T7 为荞麦连作下西荞 1 号处理, T8 为荞麦连作下九江苦荞处理. T9 为荞麦-小麦轮作下西荞 2 号处理, T10 为荞麦-小麦轮作下乌克兰大粒荞处理, T11 为荞麦-小麦轮作下西荞 1 号处理, T12 为荞麦-小麦轮作下九江苦荞处理. 数据为 3 次重复的平均值±标准差,不同小写字母表示在 $p<0.05$ 水平差异具有统计学意义. 下同.

表 3 2019 年 3 种不同种植模式对荞麦产量及产量构成因素的影响

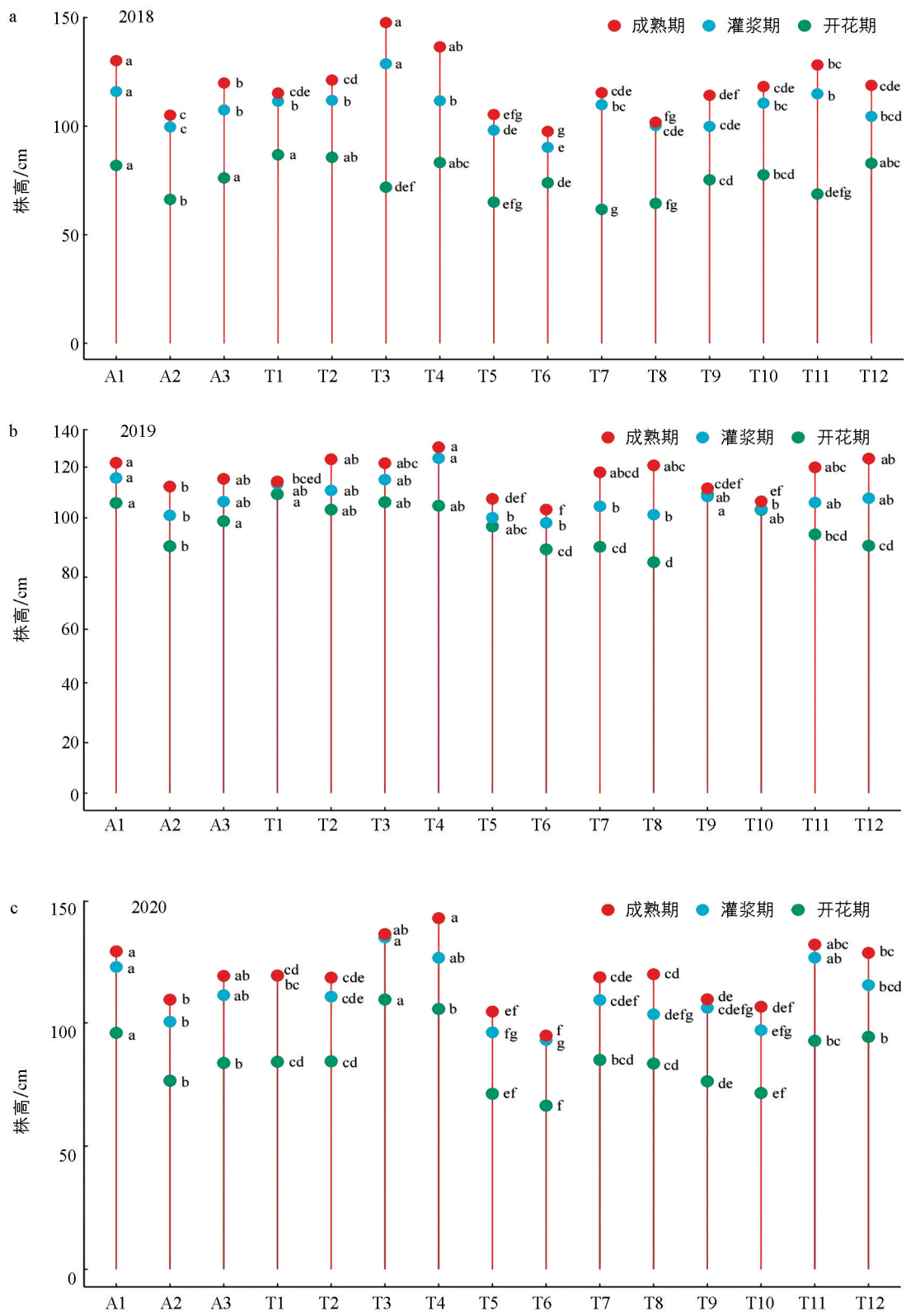
处理	产量/(kg·hm ⁻²)	单株粒数	单株粒质量/g	千粒质量/g
T1	1 344.20±3.06a	237.53±5.53d	6.99±0.40a	29.70±0.65a
T2	1 014.01±2.93cde	209.03±3.04e	5.60±0.77bc	28.16±1.77ab
T3	1 077.65±14.17c	323.55±4.81a	5.68±0.73b	17.01±1.05d
T4	1 033.73±106.70cd	269.70±5.11c	4.44±0.55cde	22.96±0.47c
T5	973.33±9.43def	149.26±8.74h	3.98±0.68def	23.02±1.75c
T6	941.33±1.70efg	130.73±7.79i	3.40±0.21ef	27.70±3.64ab
T7	913.33±12.47fg	195.55±8.47f	4.41±0.37cdef	16.07±0.39d
T8	877.81±12.71g	160.28±0.23gh	3.21±0.59f	17.05±1.23d
T9	1 213.67±17.36b	185.16±2.15f	4.86±0.53bcd	26.05±1.03bc
T10	986.67±18.86def	166.80±3.37g	4.67±0.56bcd	27.96±2.05ab
T11	920.00±16.33fg	290.39±3.94b	4.65±0.38bcd	17.92±0.41d
T12	1 023.86±15.80cd	207.47±6.30e	3.33±0.25ef	18.59±1.07d
A1	1 117.40±132.96a	259.96±42.53a	5.68±0.90a	24.46±4.97a
A2	926.45±35.20c	158.95±23.62c	3.75±0.48b	20.96±4.71b
A3	1 036.05±109.09b	212.45±47.24b	4.38±0.61b	22.63±4.43ab

表 4 2020 年 3 种不同种植模式对荞麦产量及产量构成因素的影响

处理	产量/(kg·hm ⁻²)	单株粒数	单株粒质量/g	千粒质量/g
T1	1 359.02±3.71a	343.27±7.10bc	8.27±0.92a	30.55±0.29a
T2	1 058.13±6.19f	360.32±3.15a	9.38±0.38a	29.48±0.32a
T3	1 180.00±8.16c	335.20±2.95c	6.38±0.18b	17.14±0.57g
T4	1 124.53±3.95d	351.33±6.95ab	6.45±0.18b	22.19±0.57d
T5	899.33±3.63j	240.53±4.78g	5.37±0.53bc	21.28±0.66d
T6	924.13±1.93i	205.07±2.78h	4.70±0.40cb	23.27±0.74c
T7	894.87±6.66j	268.53±0.34ef	5.07±0.20c	17.51±0.22fg
T8	804.20±2.99k	208.11±7.98h	4.06±0.51c	17.04±0.02g
T9	1 278.58±19.83b	276.27±3.61e	5.91±2.21b	23.84±0.35c
T10	995.65±3.54g	340.33±6.51c	9.33±0.14a	28.03±0.66b
T11	951.07±7.56h	305.93±4.78d	5.89±0.33b	18.69±0.85e
T12	1 099.47±7.16e	258.92±0.96f	4.74±0.09bc	18.43±0.31ef
A1	1 180.42±117.78a	347.53±9.33a	7.62±1.27a	24.84±5.49a
A2	880.63±45.51c	230.56±30.93c	4.80±0.49c	19.78±2.60c
A3	1 081.19±126.04b	295.36±25.96b	6.47±1.72b	22.25±3.98b

2.2 3 种不同种植模式对荞麦植株形态特征的影响

从图 2 可知,随着荞麦生育期的推进,荞麦株高不断增加.不同种植模式对荞麦株高的影响达到显著,荞麦株高的大小存在品种差异且达到显著.不同种植模式和荞麦品种之间的相互作用对荞麦株高的影响未达到显著,且各荞麦品种在荞麦-大豆轮作模式下荞麦株高均可获得最大值.相较于荞麦连作处理,酉荞 2 号、乌克兰大粒荞、酉荞 1 号和九江苦荞在荞麦-大豆轮作模式下开花期株高分别增高了 21.3%、19.74%、21.16%和 26.74%;灌浆期株高分别增高了 16.59%、18.3%、16.55%和 17.94%;成熟期株高分别增高了 9.76%、22.25%、15.19%和 19.54%.



A1、A2、A3 为荞麦-大豆轮作处理、荞麦连作处理和荞麦-小麦轮作处理；T1、T2、T3、T4 为荞麦-大豆轮作下西养 2 号、乌克兰大粒荞、西养 1 号、九江苦荞处理；T5、T6、T7、T8 为荞麦连作下西养 2 号、乌克兰大粒荞、西养 1 号、九江苦荞处理；T9、T10、T11、T12 为荞麦-小麦轮作下西养 2 号、乌克兰大粒荞、西养 1 号、九江苦荞处理。数据为 3 次重复的平均值±标准差，不同小写字母表示在 $p<0.05$ 水平差异具有统计学意义。下同。

图 2 不同种植模式对荞麦株高(a,b,c)的影响

从图 3 可知随着荞麦生育期的推进, 荞麦地上部分的鲜质量与干质量均不断增加. 不同种植模式对荞麦地上部分鲜质量(和干质量)的影响达到显著, 荞麦地上部分鲜质量(和干质量)的大小存在品种差异也达到显著, 且均是在荞麦-大豆轮作模式下鲜质量达到最大值. 相较于荞麦连作处理, 西荞 2 号、乌克兰大粒荞、西荞 1 号和九江苦荞在荞麦-大豆轮作模式下开花期地上部鲜质量分别增高了 45.46%、76.78%、56.99%和 88.94%; 灌浆期鲜质量分别增加了 56.73%、106.87%、55.73%和 105.5%; 成熟期鲜质量分别增加了 30.39%、93.22%、45.04%和 54.95%. 而在干质量方面, 相较于荞麦连作处理, 西荞 2 号、乌克兰大粒荞、西荞 1 号和九江苦荞在荞麦-大豆轮作模式下开花期地上部干物质质量积累分别增加了 52.08%、69.33%、23.86%和 94.38%; 灌浆期干物质质量积累分别增加了 37.43%、108%、77.93%和 71.29%; 成熟期则分别增加了 33.42%、68.52%、29.51%和 55.63%.

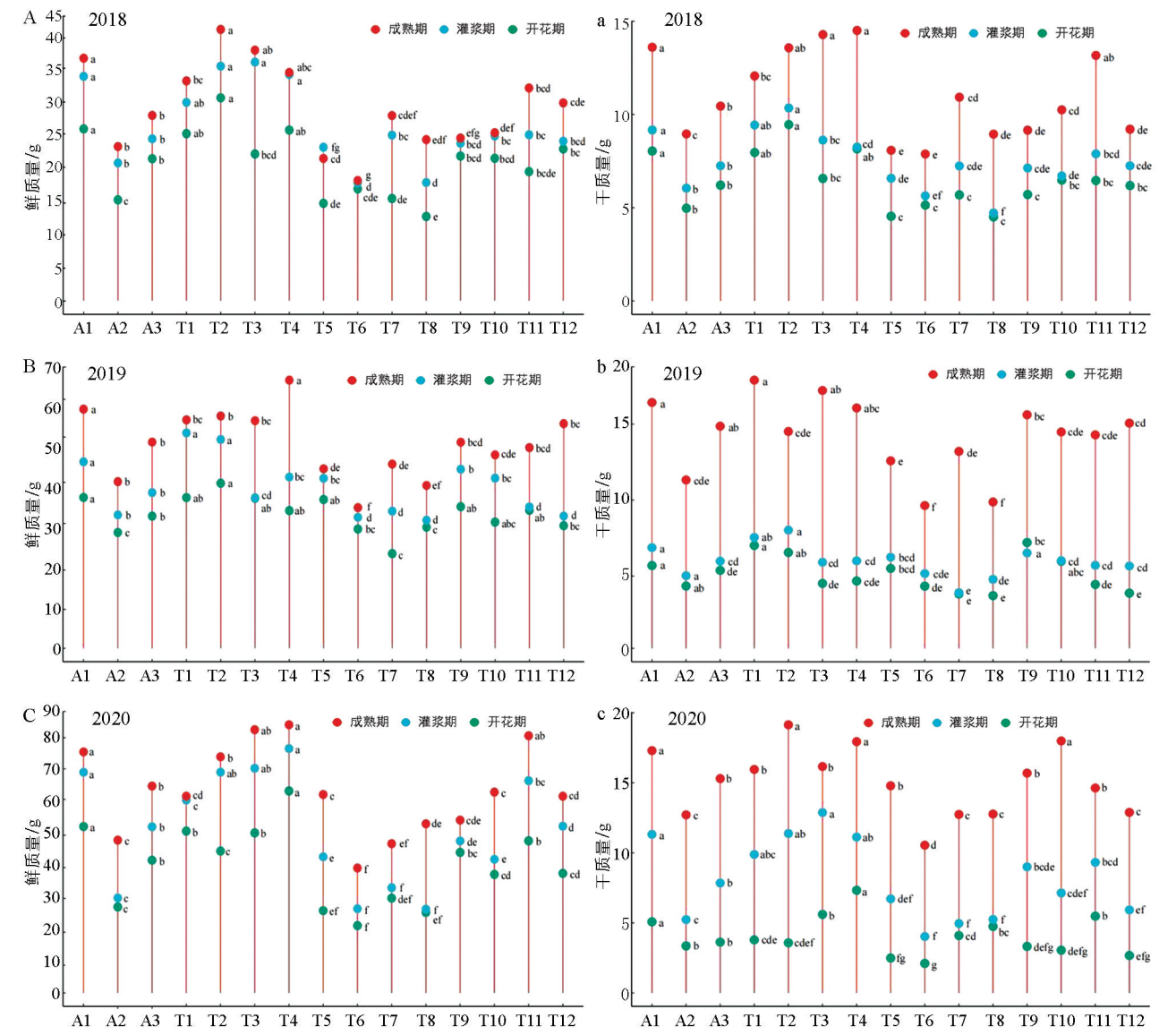


图 3 不同种植模式对荞麦鲜质量(A, B, C)和干质量(a, b, c)的影响

2.3 3 种不同种植模式对荞麦根系指标的影响

由表 5 可知, 不同种植模式对荞麦根系生物量的积累和形态具有较大影响, 并使得根系干质量、根平均直径、总根长、总根体积、总根表面积、根尖数等 6 个根系指标呈现显著差异, 而不同品种间则不总是存在显著差异. 总体来看, 在荞麦的各个生长期, 不同品种的荞麦经过轮作处理后的根系指标要高于连作处理, 且在荞麦-大豆轮作模式下达到最高值.

表 5 3 种不同种植模式对荞麦根系形态的影响

处理	2019			2020		
	开花期	灌浆期	成熟期	开花期	灌浆期	成熟期
根系干质量/g						
T1	0.71±0.04a	0.76±0.04a	1.00±0.21a	0.36±0.10cd	0.56±0.10bc	0.71±0.10abc
T2	0.68±0.02a	0.65±0.02ab	0.93±0.51ab	0.31±0.06cd	0.57±0.05bc	0.66±0.14abc
T3	0.45±0.01bcd	0.61±0.05abc	0.85±0.04ab	0.47±0.14bc	0.78±0.13a	0.81±0.05ab
T4	0.57±0.03abc	0.61±0.03abc	0.84±0.03ab	0.73±0.18a	0.78±0.03a	0.88±0.10a
T5	0.46±0.13bcd	0.38±0.07ef	0.64±0.16ab	0.27±0.03cd	0.40±0.05cde	0.54±0.04bc
T6	0.41±0.07cd	0.42±0.15def	0.60±0.15ab	0.28±0.04cd	0.28±0.05e	0.47±0.13c
T7	0.38±0.05d	0.30±0.08f	0.51±0.13ab	0.36±0.07cd	0.48±0.02cd	0.48±0.07c
T8	0.37±0.11d	0.41±0.06ef	0.49±0.05b	0.29±0.02cd	0.35±0.04de	0.49±0.01c
T9	0.60±0.05ab	0.60±0.06abcd	0.73±0.08ab	0.36±0.02cd	0.46±0.08cde	0.60±0.06bc
T10	0.45±0.09bcd	0.48±0.06bcde	0.67±0.22ab	0.18±0.02d	0.41±0.13cde	0.57±0.12bc
T11	0.43±0.07bcd	0.46±0.04cdef	0.70±0.28ab	0.41±0.04bcd	0.74±0.08ab	0.66±0.04abc
T12	0.42±0.10cd	0.53±0.12bcde	0.57±0.08ab	0.64±0.26ab	0.42±0.11cde	0.54±0.25bc
A1	0.60±0.10a	0.66±0.06a	0.91±0.07a	0.47±0.16a	0.67±0.11a	0.77±0.09a
A2	0.41±0.04b	0.38±0.05c	0.56±0.06b	0.30±0.04b	0.38±0.07c	0.50±0.03b
A3	0.48±0.07ab	0.52±0.05b	0.67±0.06ab	0.40±0.16ab	0.51±0.14b	0.59±0.04ab
根平均直径/mm						
T1	0.97±0.06ab	0.98±0.03a	1.22±0.04a	0.79±0.04abc	0.78±0.02bc	0.88±0.02ab
T2	1.07±0.05a	0.97±0.03a	1.19±0.03ab	0.79±0.09abc	0.80±0.06ab	0.84±0.05abc
T3	0.92±0.04bc	0.80±0.04bcd	1.04±0.08c	0.74±0.03bcd	0.75±0.02bcd	0.82±0.01abc
T4	0.90±0.02bcd	0.84±0.02bcd	1.02±0.09c	0.83±0.02a	0.88±0.01a	0.89±0.05a
T5	0.88±0.06bcd	0.81±0.01bcd	0.94±0.05c	0.70±0.01de	0.67±0.01e	0.75±0.02cd
T6	0.88±0.05bcd	0.79±0.08bcd	0.96±0.11c	0.71±0.04cde	0.72±0.05cde	0.80±0.03bcd
T7	0.91±0.02bcd	0.74±0.04cd	0.76±0.04d	0.65±0.02e	0.68±0.03de	0.72±0.02d
T8	0.82±0.02cd	0.73±0.04d	0.94±0.04c	0.75±0.02abcd	0.78±0.05bc	0.76±0.02cd
T9	0.96±0.08ab	0.87±0.04b	1.02±0.09c	0.76±0.01abcd	0.75±0.02bcd	0.79±0.04bcd
T10	0.92±0.13bc	0.84±0.06bc	1.06±0.10bc	0.77±0.02abcd	0.77±0.06bc	0.83±0.04abc
T11	0.78±0.01d	0.76±0.09bcd	0.94±0.05c	0.72±0.02cde	0.73±0.02bcde	0.75±0.03cd
T12	0.88±0.06bcd	0.79±0.04bcd	0.97±0.03c	0.82±0.02ab	0.88±0.02a	0.77±0.08cd
A1	0.97±0.07a	0.90±0.08a	1.12±0.09a	0.79±0.03a	0.80±0.05a	0.86±0.03a
A2	0.87±0.03b	0.77±0.03b	0.90±0.08b	0.70±0.04b	0.71±0.04b	0.76±0.03b
A3	0.89±0.07b	0.82±0.04ab	1.00±0.05ab	0.77±0.04a	0.78±0.06a	0.79±0.03ab
总根长/cm						
T1	289.32a	326.99a	444.61a	329.36c	501.61abc	564.97a
T2	278.11a	295.74a	395.56abc	269.82cde	394.16bcd	433.71ab
T3	213.63bc	278.63b	410.96ab	364.10bc	616.20a	570.42a
T4	205.06bcd	269.51bc	315.10abcd	526.95a	394.67bcd	492.19ab
T5	177.88cd	170.60f	234.64cd	274.67cde	417.69bcd	392.92ab
T6	201.90bcd	236.22bcd	218.49d	192.86e	312.30de	362.21ab
T7	194.41cd	193.10ef	228.91cd	267.69cde	459.16abcd	434.54ab
T8	155.01d	226.17d	209.81d	277.82cde	192.81e	315.54b

续表 5						
处理	2019			2020		
	开花期	灌浆期	成熟期	开花期	灌浆期	成熟期
T9	267.33a	227.26d	257.95bcd	298.10cd	500.31abc	457.28ab
T10	248.97ab	248.24bcd	319.96abcd	229.85de	353.67cde	426.85ab
T11	205.55bcd	221.52de	380.61abcd	315.44cd	573.56ab	522.72ab
T12	190.30cd	235.60bcd	219.39d	437.33b	319.41de	421.86ab
A1	246.53±37.52b	292.72±21.91b	391.56±47.57b	372.56±95.30b	476.66±91.68b	515.32±56.34b
A2	182.30±17.99a	206.52±26.17a	222.96±9.55a	253.26±35.07a	345.49±103.13a	376.3±43.47a
A3	228.04±31.27ab	233.16±10.05a	294.48±61.32a	320.18±74.82ab	436.74±104.20b	457.18±40.20b
总根体积/cm ³						
T1	4.92±0.44a	5.16±0.74a	8.52±0.48ab	3.32±0.94bc	5.32±0.71a	5.98±0.90ab
T2	5.76±0.12a	5.81±0.33a	10.78±2.71a	2.61±0.86c	4.64±0.53abc	5.12±1.76ab
T3	3.20±0.36c	3.74±0.24b	6.32±0.65bcd	3.26±1.34bc	5.83±0.22a	5.82±1.75ab
T4	3.05±0.05c	3.38±0.32bc	5.22±0.52cde	6.46±1.72a	5.76±0.53a	6.74±1.29a
T5	3.05±1.33c	3.22±0.28bc	5.11±0.72cde	2.38±0.85c	3.33±0.63de	4.87±0.72ab
T6	3.04±0.54c	3.13±0.77bc	5.57±0.81cde	1.68±0.26c	2.32±0.45e	3.96±1.33ab
T7	2.18±0.35c	2.31±0.16c	3.65±0.58de	2.30±0.46c	3.46±0.13cde	4.11±1.17ab
T8	2.13±0.59c	2.34±0.55c	3.31±0.16e	2.53±0.13c	2.30±0.28e	3.17±2.10b
T9	4.58±0.92ab	3.70±0.74b	6.51±0.52bc	3.14±0.66bc	4.02±0.76bcd	5.07±0.86ab
T10	3.45±0.35bc	3.11±0.57bc	5.63±1.43cde	2.31±0.71c	4.05±0.37bcd	5.11±0.99ab
T11	2.84±0.53c	2.18±0.83c	4.72±1.47cde	2.87±0.46c	5.14±0.66ab	4.89±0.39ab
T12	2.30±0.06c	2.34±0.48c	3.96±1.17cde	5.44±2.2ab	3.48±0.66cde	3.72±1.79ab
A1	4.23±1.15a	4.52±1.00a	4.52±1.00a	3.91±1.50a	5.39±0.47a	5.92±0.58a
A2	2.60±0.45b	2.75±0.43b	2.75±0.43b	2.22±0.32b	2.85±0.54b	4.03±0.60b
A3	3.29±0.85ab	2.83±0.61ab	2.83±0.61b	3.44±1.19ab	4.17±0.60a	4.70±0.57ab
根总表面积/cm ²						
T1	87.58a	88.15a	136.88ab	80.90b	119.49c	134.50a
T2	82.05a	87.42ab	140.13a	66.36bcd	93.04de	111.56bc
T3	66.77b	77.19abc	114.04abc	79.32bc	144.49a	142.03a
T4	57.75bc	68.65bcd	92.90abc	114.86a	117.69c	133.70a
T5	54.81bc	45.12e	81.75abc	65.62bcd	98.73de	102.80bcd
T6	57.23bc	64.17cde	78.72abc	45.97e	68.63f	89.47de
T7	49.50c	45.37e	69.61abc	62.63cd	97.05de	97.74cd
T8	45.14c	53.85de	64.27c	65.30bcd	51.81g	77.28e
T9	79.73a	69.98abcd	87.95abc	77.51bc	101.14d	112.12bc
T10	65.88b	63.79cde	96.89abc	58.84de	87.47e	109.06bcd
T11	56.01bc	59.08cde	107.50abc	73.63bcd	130.23b	123.36ab
T12	48.79c	57.83cde	67.17bc	75.12bcd	87.98e	103.35bcd
A1	73.54±11.88a	80.35±8.02a	120.99±19.08a	85.36±17.94a	118.68±18.20a	130.45±11.38a
A2	51.67±4.69b	52.13±7.79b	73.59±6.99c	59.88±8.11c	79.05±19.76c	91.82±9.65c
A3	62.60±11.60ab	62.67±4.77b	89.88±14.82b	71.27±7.31b	101.7±17.36b	111.97±7.29b

续表 5

处理	2019			2020		
	开花期	灌浆期	成熟期	开花期	灌浆期	成熟期
根尖数						
T1	581.11a	731.31a	933.97a	618.46bc	988.27ab	1282.50a
T2	602.78a	747.11a	835.53ab	451.69de	742.38cde	837.56bcd
T3	393.83cd	546.56b	691.36bc	517.03bcd	1104.20a	1143.42ab
T4	362.56cdef	495.42bc	623.22cde	806.03a	875.31bcd	940.17bcd
T5	420.44cd	429.44bcd	435.83fg	489.33cd	797.42bcde	876.44bcd
T6	380.22cde	432.77bcd	479.33efg	311.25e	603.75ef	793.61cd
T7	278.89f	359.29cd	372.28g	496.98cd	810.17bcde	806.83cd
T8	276.17f	333.88d	448.44fg	445.53de	434.03g	618.00d
T9	523.64ab	464.44bcd	516.72defg	540.23bcd	897.52bc	966.92bc
T10	451.00bc	568.83b	595.78cdef	412.67de	714.75cde	832.40bcd
T11	341.11def	428.22bcd	676.11bcd	500.48cd	958.20ab	1027.83abc
T12	297.78ef	476.33bcd	511.28defg	649.15b	673.00de	873.58bcd
A1	485.07±107.72a	630.10±110.74a	771.02±121.35a	598.31±133.84a	927.54±134.08a	1050.91±173.19a
A2	338.93±63.04c	388.85±43.22c	433.97±38.98c	435.77±74.53c	661.34±154.64b	773.72±95.25b
A3	403.38±89.11b	484.46±51.84b	574.97±67.29b	525.63±84.95b	810.87±119.86a	925.18±76.73ab

3 讨论

3.1 养麦不同种植模式对产量及植株形态特征的影响

不同作物轮作处理下，其产量优于连作处理，轮作在一定程度上促进了作物产量的形成。牛倩云等^[11]在谷子轮连作定位试验的研究中发现，大豆-马铃薯-谷子轮作处理后其谷子产量显著高于谷子连作处理。刘珊廷等^[12]在木薯轮连作对比试验后发现，木薯经轮作处理后，其产量显著提高，每公顷产量相较连作增加了 11.99 t。刘星等^[13]在研究中发现马铃薯轮作处理后植株总生物量和块茎产量与连作相比显著提高。柴继宽^[14]在研究中发现，燕麦连作后产量逐年降低，燕麦-豌豆-胡麻-燕麦单序轮作提高了燕麦产量，且高于连作。本研究轮作处理下的籽粒产量显著提升，与 JIANG 等^[15]研究结果一致。此外，在试验中发现，荞麦连作处理下，籽粒产量逐年降低，西荞 2 号、乌克兰大粒荞、西荞 1 号和九江苦荞经过 3 年的连作，其产量平均降低了 9.98%，会产生严重的连作障碍，这与高扬^[7]研究结果一致。同时，轮作处理下荞麦产量显著高于连作处理，且随着轮作年限的增加，产量逐渐升高。可能是由于作物轮作处理下，通过促进叶片活性氧代谢^[8]、渐渐改善土壤微生物环境、增强土壤酶对土壤营养物质的转化和对次级代谢产物的分解，土壤各主要营养物质含量的提升，从而改善了土壤环境^[16]，最终逐年提升荞麦的产量。

在不同作物参与的轮作系统中，其对产量的增益效果有所差异。李争艳等^[17]在研究中发现，由玉米和高粱分别参与苜蓿的轮作系统中，其苜蓿产量较连作显著提升，玉米-苜蓿轮作处理和高粱-苜蓿轮作处理下，其产量分别是连作处理下的 1.27 倍和 1.13 倍。本研究中荞麦-大豆轮作和荞麦-小麦轮作处理下其产量较连作平均提高了 14.57%和 9.39%，不同轮作制度处理对荞麦产量的提高差异显著，与赵涛等^[8]研究结果一致。本研究中，荞麦不同轮作系统间的产量差异可能是豆科作物参与轮作后，根系留下了富含氮的残留物，也给土壤中增添了更多的固氮菌，使土壤肥力增加，从而对荞麦产量的提高更有优势。

不同作物轮作处理下，其各时期农艺性状优于连作处理，轮作在一定程度上促进了植株的生长效率。如谷景龙^[18]在玉米轮连作定位试验后发现，轮作显著提高了玉米百粒质量。柴继宽^[14]发现，燕麦轮作下穗

长、每穗小穗数、穗节数/花序和千粒质量相较连作处理有所提高, 单枝生殖枝数、种子粒数和单株种子重明显提高. 徐雪风等^[19]在研究中发现, 油菜-马铃薯轮作后, 马铃薯株高、茎粗和地上部干质量较连作显著增大. 荞麦各时期农艺性状轮作处理也优于连作处理, 在轮作下荞麦株高、单株粒数、单株粒质量都增加, 且最适茬口为大豆, 与胡彦君等^[9]研究一致. 荞麦轮作处理下, 各时期株高、地上部分鲜质量和干质量相较荞麦连作处理显著增大, 轮作促进了荞麦的生长, 且荞麦-大豆轮作下更能促进生长. 同时, 轮作处理下, 土壤各主要营养物质含量增多, 荞麦生长的土壤环境优于连作处理, 且在荞麦-大豆轮作下土壤环境条件优于荞麦-小麦轮作处理, 更能促进荞麦地上部分的生长和干物质的积累.

3.2 荞麦不同种植模式对根系的影响

根系、土壤营养环境和土壤微生物群落相互作用共同决定着作物根际土壤环境, 作物轮作使土壤环境发生改变, 植物根系形态也会发生一系列的变化, 其直接影响着植物根系对水分和营养物质的吸收^[19-20]. 荞麦连作不仅抑制其地上部分生产, 还阻碍其地下部分生长, 荞麦根系长度、根表面积与产量呈显著正相关^[21], 而轮作较连作能显著提高作物根系干物质量、根长、根表面积、根尖数等各项根系指标, 从而有助于提高产量. 如, 王劲松等^[22]在研究中发现, 高粱轮作处理后总根长、根总表面积、根总体积相比于连作处理均有了显著提高, 轮作促进了高粱根系在土壤中的分布. 樊芳芳等^[23]在玉米-高粱轮作与高粱连作对比试验中发现, 轮作处理后高粱根系的干物质量、根总表面积和根总体积均显著高于连作处理. 杨德光等^[24]在玉米轮作后发现玉米轮作处理相较玉米连作其根长显著增长. 魏飞等^[20]对棉花轮作试验后的研究结果表明, 与棉花连作相比, 小麦-棉花轮作和苜蓿-棉花轮作均促进了棉花根系的生长, 棉花总根长、根系干质量和根系表面积显著增大. 宋佳承^[25]在对马铃薯多年的轮连作定位试验后发现, 藜麦-马铃薯轮作处理和玉米-马铃薯轮作处理后马铃薯根系干质量、总根长、总根表面积、总根体积、根平均直径、根尖数皆显著高于连作处理.

本研究结果与学界研究结果一致, 荞麦-大豆轮作和荞麦-小麦轮作相较于荞麦连作, 荞麦根系干物质量、根平均直径、总根长、总根体积、总根表面积、根尖数均有显著提高, 产量也相较提高. 这可能是因为荞麦经过轮作处理后, 土壤大团聚体数量持续增长, 土壤环境改善, 促进了荞麦根系活动^[16]. 轮作优化了荞麦根系在土壤中的分布, 增强了根系对土壤环境中水分和营养物质的吸收, 进而促进了荞麦地上部和根系的生长发育.

4 结论

在重庆地区的多年轮作试验表明, 3 种不同种植模式对荞麦产量及其构成要素均呈显著影响. 荞麦-大豆轮作下荞麦籽粒产量高于荞麦-小麦轮作处理, 再高于荞麦连作处理. 相比于荞麦连作, 轮作使荞麦的单株粒数增加, 单株粒质量增大, 千粒质量也随之增加. 3 种不同种植模式对荞麦的植株形态有显著影响. 相同荞麦品种, 荞麦-大豆轮作处理下的株高、鲜质量和干质量高于荞麦-小麦轮作处理, 再高于荞麦连作处理. 相同生育时期, 轮作处理下荞麦地上部生物量积累速度加快, 且荞麦-大豆轮作模式下地上部生物量的积累速率获得最大值, 更有利于荞麦各时期的生长和发育. 随着荞麦生育期的不断推进, 3 种不同种植模式对荞麦根系干质量、根平均直径、总根长、总根体积、总根表面积和根尖数呈逐渐增加的趋势. 不同种植模式对荞麦根系性状影响显著. 相同生育时期, 荞麦-大豆轮作处理下根系形态各指标高于荞麦-小麦轮作处理, 再高于荞麦连作处理. 荞麦-大豆轮作模式下荞麦根系更加粗壮, 须根更多, 更有利于根系对植株周围土壤中营养物质的吸收. 总之, 在重庆地区的荞麦栽培中进行荞麦-大豆轮作处理, 有利于提高荞麦产量、改善植株形态和根系指标.

参考文献:

[1] 范昱, 丁梦琦, 张凯旋, 等. 荞麦种质资源概况 [J]. 植物遗传资源学报, 2019, 20(4): 813-828.

- [2] 方小梅, 杨文娟, 王于栋, 等. 苦荞 EMS 突变体库的构建及 SCoT 标记筛选分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2023, 45(2): 54-65.
- [3] 何伟俊, 曾荣, 白永亮, 等. 苦荞麦的营养价值及开发利用研究进展 [J]. 农产品加工, 2019, 493(23): 69-75.
- [4] HUDA M N, LU S, JAHAN T, et al. Treasure from Garden: Bioactive Compounds of Buckwheat [J]. Food Chemistry, 2021, 335: 127653. doi: 10. 1016/j. foodchem. 2020. 127653.
- [5] 张建, 黄科慧, 刘洋, 等. 基于转录组测序挖掘甜荞自交不亲和和相关功能基因 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2022, 44(11): 99-113.
- [6] 杨崇庆, 常克勤, 穆兰海, 等. 荞麦品种改良与产业发展现状及趋势分析 [J]. 作物杂志, 2021(2): 28-34.
- [7] 高扬. 连作对荞麦生理特性及土壤环境效应的影响 [D]. 杨凌: 西北农林科技大学, 2015.
- [8] 赵涛, 高小丽, 高扬, 等. 轮作及连作条件下荞麦功能叶片衰老特性的比较 [J]. 西北农业学报, 2015, 24(11): 87-94.
- [9] 胡彦君, 张晓伟. 荞麦轮作倒茬对比试验 [J]. 乡村科技, 2020(17): 101-102.
- [10] 王静, 章林平, 王利鹏, 等. 不同磷素水平对水稻根系生长及部分营养元素吸收的影响 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2015, 37(7): 30-36.
- [11] 牛倩云, 韩彦莎, 徐丽霞, 等. 作物轮作对谷田土壤理化性质及谷子根际土壤细菌群落的影响 [J]. 农业环境科学学报, 2018, 37(12): 2802-2809.
- [12] 刘珊廷, 罗兴录, 吴美艳, 等. 连作与轮作下木薯产量及土壤微生物特征比较 [J]. 热带作物学报, 2019, 40(8): 1468-1473.
- [13] 刘星, 邱慧珍, 王蒂, 等. 甘肃省中部沿黄灌区轮作和连作马铃薯根际土壤真菌群落的结构性差异评估 [J]. 生态学报, 2015, 35(12): 3938-3948.
- [14] 柴继宽. 轮作和连作对燕麦产量、品质、主要病虫害及土壤肥力的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2012.
- [15] JIANG Y F, NYIRANEZA J, NORONHA C, et al. Nitrate leaching and potato tuber yield response to different crop rotations [J]. Field Crops Research, 2022, 228, 108700. doi: 10. 1016/j. fcr. 2022. 108700.
- [16] 范倩玉. 不同轮作模式对晋北高寒山区土壤物理结构、有机碳及相关酶活性的影响 [D]. 太原: 山西农业大学, 2021.
- [17] 李争艳, 徐智明, 师尚礼, 等. 江淮地区不同轮茬作物对苜蓿产量及根际土壤质量的影响 [J]. 草业学报, 2019, 28(8): 28-39.
- [18] 谷景龙. 不同种植方式对土壤性状、玉米生长发育及产量的影响 [D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2019.
- [19] 徐雪风, 李朝周, 张俊莲. 轮作油葵对马铃薯生长发育及抗性生理指标的影响 [J]. 土壤, 2017, 49(1): 83-89.
- [20] 魏飞, 孙新展, 刘建国, 等. 连作棉田轮作苜蓿、小麦后对棉花光合能力和根系生长的影响 [J]. 江苏农业科学, 2019, 47(12): 126-128.
- [21] 王雨, 赵权, 孔德章, 等. 化学肥料调控对连作甜荞生长的影响 [J]. 广东农业科学, 2018, 45(4): 87-93.
- [22] 王劲松, 樊芳芳, 郭珺, 等. 不同作物轮作对连作高粱生长及其根际土壤环境的影响 [J]. 应用生态学报, 2016, 27(7): 2283-2291.
- [23] 樊芳芳, 王劲松, 董二伟, 等. 连作对高粱生长及根区土壤环境的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2016(3): 127-133.
- [24] 杨德光, 吴玥, 宋秀丽, 等. 轮作对土壤肥力及玉米生长发育的影响 [J]. 玉米科学, 2019, 27(4): 127-133.
- [25] 宋佳承. 轮作及连作对马铃薯生长发育及根际微环境的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2020.

责任编辑 任剑乔