

DOI:10.11686/cyxb2024270

http://cyxb.magtech.com.cn

张英豪, 刘楚波, 周坤, 等. 果草系统中枣树对不同方位紫花苜蓿和鸭茅生长的影响. 草业学报, 2025, 34(6): 203-212.

ZHANG Ying-hao, LIU Chu-bo, ZHOU Kun, et al. Effects of jujube tree on the growth of alfalfa and orchardgrass in different positions within an orchard. Acta Prataculturae Sinica, 2025, 34(6): 203-212.

## 果草系统中枣树对不同方位紫花苜蓿和鸭茅生长的影响

张英豪<sup>1</sup>, 刘楚波<sup>2</sup>, 周坤<sup>1</sup>, 郭家存<sup>1</sup>, 刘世鹏<sup>2\*</sup>, 孙婁姿<sup>1\*</sup>

(1. 西北农林科技大学草业与草原学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 延安大学生命科学学院, 陕西 延安 716000)

**摘要:** 提高种间促进作用和降低种间竞争是实现果草系统生态和高质量发展的关键。果树的竞争力强于牧草, 但果树对果园中不同方位牧草生长的影响及主要限制因素尚不明晰。本研究在陕北黄河滩红枣主产区延川, 以紫花苜蓿和鸭茅分别开展果园生草, 测定枣树不同方向上不同距离处牧草生物量、光合有效辐射、土壤养分和水分含量。结果表明: 果园中牧草的生长存在空间差异性, 位于枣树南面牧草的生物量最高(苜蓿  $22.57 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ , 鸭茅  $174.57 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ), 东西次之, 北面最低(苜蓿  $14.29 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ , 鸭茅  $71.84 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ )。同时, 距离枣树越近, 牧草受到抑制程度越大。在不同方向上, 牧草的光合有效辐射呈显著差异, 南面最高、北面最低。在各个方向上, 距离树干越近, 土壤氮磷养分含量有所增加, 而土壤含水量和光合有效辐射减少, 同时紫花苜蓿和鸭茅的根冠比呈增大趋势。这些结果揭示, 不同方向上牧草生长差异主要是由果树对光照的竞争所致; 随着距离的缩短, 果树对牧草的主要竞争因素是水分, 其次是光照, 在土壤养分方面未发生明显竞争。

**关键词:** 紫花苜蓿; 鸭茅; 果草复合系统; 种间竞争

## Effects of jujube tree on the growth of alfalfa and orchardgrass in different positions within an orchard

ZHANG Ying-hao<sup>1</sup>, LIU Chu-bo<sup>2</sup>, ZHOU Kun<sup>1</sup>, GUO Jia-cun<sup>1</sup>, LIU Shi-peng<sup>2\*</sup>, SUN Luan-zi<sup>1\*</sup>

1. College of Grassland Agriculture, Northwest A&F University, Yangling 712100, China; 2. College of Life Sciences, Yan'an University, Yan'an 716000, China

**Abstract:** Enhancing interspecific facilitation and reducing interspecific competition are key to achieving ecological and high-quality development in fruit-grass production systems. Fruit trees have stronger competitiveness than grasses, but the impact of fruit trees on the growth of nearby grasses in orchards and the main limiting factors are still unclear. This study was conducted in Yanchuan, a major jujube (*Ziziphus jujube*) production area in the Yellow River floodplain of northern Shaanxi. The jujube orchard had a full ground cover of alfalfa (*Medicago sativa*) and orchardgrass (*Dactylis glomerata*), and the biomass of the herbage photosynthetically active radiation, soil nutrients, and water content were measured in different compass directions and at various distances from the jujube trees. Spatial differences were found in the growth of grass in the orchard, with the highest biomass of grass located to the south of the trees (alfalfa  $22.57 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ , orchardgrass  $174.57 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ), followed by the east and west, and the lowest to the north (alfalfa  $14.29 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ , orchardgrass  $71.84 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Meanwhile, the closer the proximity to the

收稿日期: 2024-07-10; 改回日期: 2024-08-22

基金项目: 国家自然科学基金项目(32160761)和陕西省重点研发项目(2023-YBNY-061)资助。

作者简介: 张英豪(2000—), 男, 重庆彭水人, 在读硕士。E-mail: 13048425773@163.com

\* 通信作者 Corresponding author. E-mail: sunluanzi@163.com; liushipeng2003@126.com

jujube tree, the more the growth of grass was inhibited. In different compass directions from the jujube tree, there were significant differences in photosynthetically active radiation (PAR) intercepted by the alfalfa and the orchardgrass, with the highest PAR to the south and the lowest to the north of the trees. In all directions, the soil nitrogen and phosphorus nutrient content increased with closer proximity to the tree, while the soil moisture content and photosynthetically active radiation decreased, and the root-shoot ratio of alfalfa and orchardgrass tended to increase. These results reveal that the main factor causing the difference in the growth of alfalfa and orchardgrass in different directions from the jujube trees is competition for light. As the distance of alfalfa and orchardgrass from the trees decreased, the main competitive factor between them was water, followed by light. There was no obvious competition in terms of soil nutrients.

**Key words:** alfalfa; orchardgrass; fruit tree and forage intercropping system; interspecific competition

黄河流域作为中国重要的生态屏障和经济带,长期以来受特殊地理环境、气候条件等因素制约,导致群众收入水平较低<sup>[1]</sup>。随着乡村振兴政策的实施,大面积黄河滩区积极发展特色果业产品,实现了农业增效和农民增收。然而传统的清耕制易引起果园水土流失及养分淋溶,从而对黄河生态造成污染,因此探索黄河流域果业的可持续发展路径势在必行<sup>[2]</sup>。果园生草是指在果树行间或全园种植草本植物的果园土壤耕作管理模式<sup>[3-4]</sup>。相比于清耕模式,果园生草有利于构建良好的果园生产体系<sup>[5-6]</sup>,增加土壤有机质<sup>[7]</sup>,减少土壤和水分流失<sup>[8]</sup>,还能有效控制杂草生长并降低生产成本<sup>[9-10]</sup>。此外,饲草也是促进果业与畜牧业有机结合的关键纽带,比如林一草一鸡等种养循环模式可有效利用果园水土资源,实现立体种植养殖融合发展以及资源循环利用<sup>[11]</sup>。因此,果园生草对于实现黄河流域果业“生态保护”和“高质量发展”具有重要意义。

农林系统中,由于果树和作物经常利用同一时空上的光、水和养分等资源,导致出现生态位重叠现象并产生强烈的竞争作用。提高植物间促进作用并降低竞争作用是实现复合系统高产、高效和生态平衡的关键<sup>[12]</sup>。研究证实,农林间作系统中,树木具有更强的竞争能力,并对作物生长施加明显抑制作用<sup>[13]</sup>。其中,光照是农林复合系统中木本植物限制农作物生长的重要因素之一<sup>[14]</sup>。例如,银合欢(*Leucaena leucocephala*)对相邻农作物遮荫率可达85%<sup>[15]</sup>;大叶千斤拔(*Flemingia macrophylla*)通过光照竞争严重影响玉米(*Zea mays*)产量<sup>[16]</sup>。此外,在水分和养分方面,木本植物与作物也存在激烈竞争。木本植物根系发达,在水平和垂直方向呈辐射状生长<sup>[17]</sup>,在浅层土壤上,树木与作物的根系均有分布,导致在土壤资源上发生竞争。例如,与单作相比,在果树行间的白三叶(*Trifolium repens*)氮、磷、钾含量显著下降,生长受到严重抑制<sup>[18]</sup>。目前,农林间作系统中植物种间相互作用已得到大量关注。不同于间作方式,在果草系统中,牧草不仅覆盖果树行间,还覆盖果树株间土壤,地面覆盖率达90%以上,然而目前对果草系统中果树对不同方位牧草生长影响研究较少。

本研究在陕北黄河流域枣树(*Ziziphus jujuba*)主产区进行,以紫花苜蓿(*Medicago sativa*)和鸭茅(*Dactylis glomerata*)开展果园生草,分析枣树不同方向上不同距离牧草的产量,阐明果园中牧草生长的空间变化规律;通过测定光照、土壤水分和养分含量等指标,探明枣树对不同方位牧草生长的主要限制因素,旨在为黄河流域果业的可持续发展提供理论依据和技术支持。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验区概况

试验在陕西省延川县伏羲河村黄河滩枣园(北纬36°44',东经110°44',海拔532 m)进行。该试验点地处陕北黄土高原丘陵沟壑区,属于温带大陆性季风气候,冬季寒冷干燥,夏季降水集中,气候炎热,为雨养农区,年平均气温10.6℃,年日照时数2558 h,无霜期185 d,常年降水量不足500 mm。土壤类型为砂土,0~60 cm土层土壤pH值为7.8,有机质含量为8.27 g·kg<sup>-1</sup>,全氮含量为0.4 g·kg<sup>-1</sup>,全磷含量为0.69 g·kg<sup>-1</sup>,碱解氮含量为31.26 mg·kg<sup>-1</sup>,有效磷含量为22.57 mg·kg<sup>-1</sup>,速效钾含量为61.89 mg·kg<sup>-1</sup>。枣树品种为圆枣,树龄30年,株行距4 m×4 m。

## 1.2 试验设计

采用紫花苜蓿和鸭茅分别对枣树果园进行全园生草。紫花苜蓿于2023年4月下旬播种,播种量为 $22.5 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ ;鸭茅于2022年8月播种,播种量为 $15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。紫花苜蓿和鸭茅的播种面积均为 $432 \text{ m}^2$ (长 $12 \text{ m}$ ,宽 $36 \text{ m}$ ),包含3行9排果树。播种方式为人工撒播,播种前试验地块施入 $317 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 氮肥、 $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 磷肥和 $200 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 钾肥,再用旋耕机(1WGQ-70,中国)进行翻耕。播种完后牧草不再追肥。其他管理措施,如灌溉、中耕除草、病虫害防治等均按照当地果园管理统一进行。

为了探究枣树对枣园中不同位置牧草生长的影响,试验对枣树东南西北4个方向不同距离的牧草进行采样研究。2023年8月在紫花苜蓿现蕾期、鸭茅孕穗期,分别选取3株长势一致且位于枣园中间位置的枣树,对其4个方向上近距离和远距离的土壤及牧草取样。近距离采样点与树干相距 $1/5$ 株距或行距,即东西方向与树干相距 $0.8 \text{ m}$ ,南北方向与树干相距 $0.6 \text{ m}$ 。远距离采样点与树干相距 $2/5$ 株距或行距,即东西方向与树干相距 $1.6 \text{ m}$ ,南北方向与树干相距 $1.2 \text{ m}$ (图1)。试验共设置48个取样点,包括两个草种处理、4个方向、两个距离以及3个重复。

## 1.3 样品采集

以采样点为中心,将长方形取样框( $25 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ )的长度面向所选果树,用剪刀将取样框内的苜蓿

和鸭茅齐地面剪下,装入信封袋。利用根钻(内径 $50 \text{ mm}$ )和土钻(内径 $38 \text{ mm}$ )于采样点分别采集苜蓿和鸭茅的根和土壤,由于牧草的根系几乎位于土壤 $40 \text{ cm}$ 深度以上,对 $0 \sim 20 \text{ cm}$ 和 $20 \sim 40 \text{ cm}$ 土层进行采样。采样后,将根装入信封袋,土壤分成两份,一份装入铝盒,一份装入塑封袋。将所取样本带回实验室。

## 1.4 指标测定

**1.4.1 牧草的干重** 将收集的苜蓿和鸭茅地上部分放入烘箱,在 $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 杀青 $1 \text{ h}$ ,接着在 $65 \text{ }^\circ\text{C}$ 下烘至恒重,再分别称量干重,每个处理重复3次,取平均值计算。

**1.4.2 根冠比** 将根放入烘箱,在 $65 \text{ }^\circ\text{C}$ 下烘至恒重,测定干重,根冠比计算公式为:根冠比=地下干重/地上干重。

**1.4.3 光合有效辐射** 在苜蓿和鸭茅取样点处,从 $6:00$ 至 $19:00$ ,每个 $\text{h}$ 使用植物冠层分析仪(SunScan,英国)测量光合有效辐射。

**1.4.4 牧草的全氮、全磷含量** 将烘干后的苜蓿和鸭茅磨细成粉,过 $0.5 \text{ mm}$ 筛,分别称取 $0.1 \text{ g}$ ,置于 $100 \text{ mL}$ 干燥的消化管中,用 $\text{H}_2\text{SO}_4\text{-H}_2\text{O}_2$ 法<sup>[19]</sup>进行消解,用流动分析仪(AutoAnalyzer 3,德国)测定苜蓿和鸭茅的全氮、全磷含量。

**1.4.5 土壤含水量** 对装有土壤的铝盒进行称重,然后放入烘箱,在 $105 \text{ }^\circ\text{C}$ 下烘干至恒重,测定烘干后铝盒及土样质量,土壤含水量计算公式为:土壤含水量=(烘干前铝盒及土样质量-烘干后铝盒及土样质量)/(烘干后铝盒及土样质量-空铝盒质量) $\times 100\%$ 。

**1.4.6 土壤碱解氮、速效磷含量** 将鸭茅和苜蓿根际土于阴凉处阴干,用碱解扩散法<sup>[20]</sup>测定土壤碱解氮含量,用 $0.5 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1} \text{ NaHCO}_3$ 浸提-钼锑抗显色法<sup>[21]</sup>测定速效磷含量。

## 1.5 数据处理

采用 Microsoft Excel 2016 进行数据整理,采用 SPSS 25.0 进行方差分析和独立样本  $T$  检验(显著性水平设定为  $P < 0.05$ ),采用 Origin Pro 2018 进行绘图。

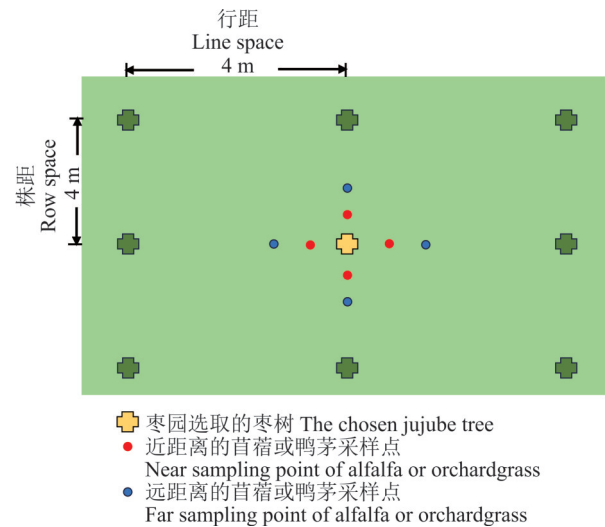


图1 采样示意

Fig. 1 Sampling diagram

## 2 结果与分析

### 2.1 牧草干重和根冠比变化特征

紫花苜蓿和鸭茅的生长受所处方向显著影响( $P < 0.05$ )(图2)。其中,枣树的南侧最有利于紫花苜蓿和鸭茅的生长,无论距离远近,其生物量均高于其他方向,平均干重分别为22.57和174.57  $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ ;其次是东侧和西侧;而北侧则呈现最低的生长情况,平均干重分别为14.29和71.84  $\text{g} \cdot \text{m}^{-2}$ (图2)。在4个方向中,距离枣树越近,饲草生物量越低。对于紫花苜蓿来说,在东南西北4个方向,与远距离相比,靠近枣树时的生物量分别降低了28.5%、21.6%、24.9%、30.3%,而鸭茅则分别降低了12.3%、12.2%、13.1%、8.4%(图2)。

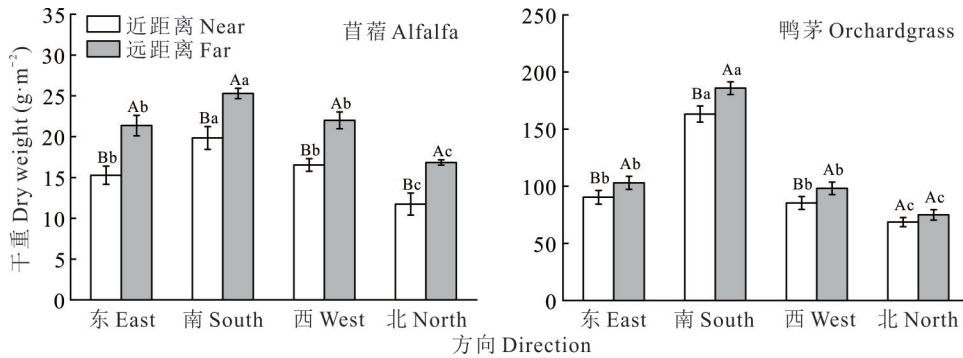


图2 枣树不同方向和距离上紫花苜蓿和鸭茅的地上部干重

Fig. 2 The aboveground dry weight of alfalfa and orchardgrass at different directions and distances from the jujube tree

不同小写字母表示同一距离不同方向之间差异显著( $P < 0.05$ ),不同大写字母表示同一方向不同距离之间差异显著( $P < 0.05$ ),下同。Different lowercase letters indicate significant differences among different directions of the same distance ( $P < 0.05$ ), and different uppercase letters indicate significant differences between different distances in the same direction ( $P < 0.05$ ), the same below.

如图3所示,所处方向对紫花苜蓿和鸭茅的根冠比有显著影响( $P < 0.05$ )。在南侧方向,苜蓿和鸭茅的平均根冠比最大,分别为0.25和0.20;其次为东侧和西侧,其中东侧紫花苜蓿和鸭茅的平均根冠比分别为0.17和0.11,而西侧则分别为0.16和0.13;北面牧草的根冠比最小,紫花苜蓿和鸭茅的平均值分别为0.13和0.06(图3)。在4个方向上,距离枣树越近,苜蓿和鸭茅根冠比越大。对紫花苜蓿来说,相较于近距离,远距离的根冠比平均降低了26.2%。对鸭茅来说,相较于近距离,远距离的根冠比平均降低了25.6%(图3)。

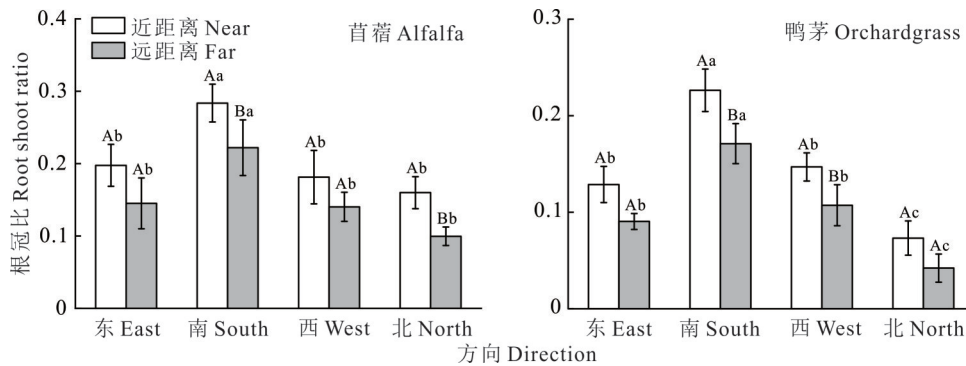


图3 枣树不同方向和距离上紫花苜蓿和鸭茅的根冠比

Fig. 3 The root shoot ratio of alfalfa and orchardgrass at different directions and distances from the jujube tree

### 2.2 牧草全氮和全磷含量变化特征

对于紫花苜蓿和鸭茅来说,所处方向显著影响其全氮和全磷含量( $P < 0.05$ )(图4)。无论距离远近,苜蓿和鸭茅全氮和全磷含量在南侧最高,其次是东侧和西侧,北面最低(图4)。在4个方向中,饲草距离枣树越近,其全

氮和全磷含量越低。在东南西北 4 个方向,与远距离相比,近距离紫花苜蓿的全氮含量分别降低了 7.4%、7.7%、8.3%、6.0%,全磷含量分别降低了 8.5%、8.2%、10.3%、7.7%。而鸭茅全氮含量分别降低了 20.0%、20.3%、23.1%、17.6%,全磷含量分别降低了 6.4%、7.8%、5.2%、6.8%(图 4)。

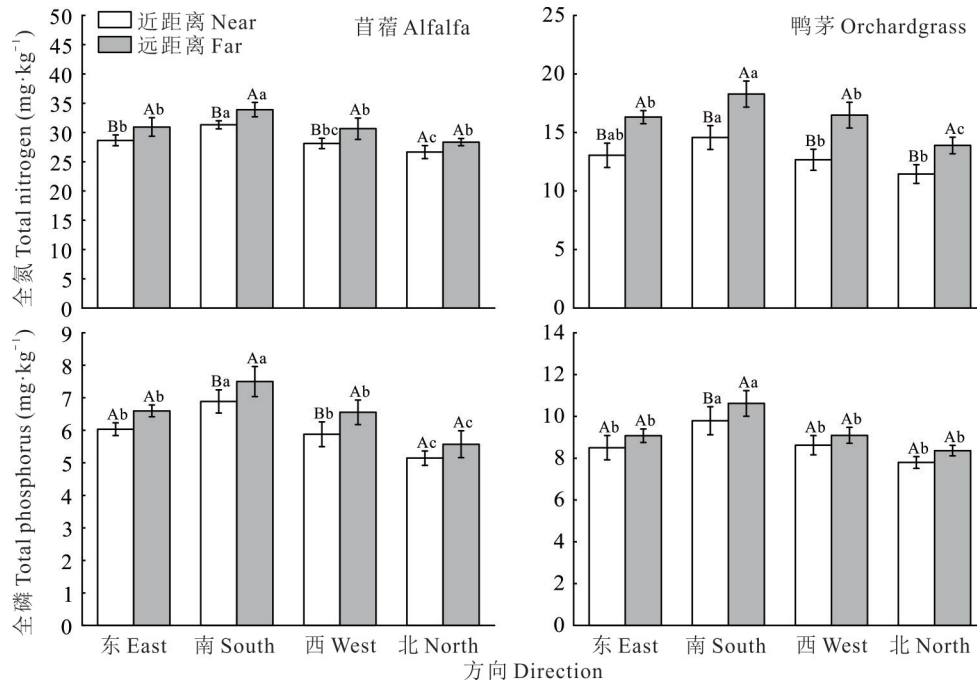


图 4 枣树不同方向和距离上紫花苜蓿和鸭茅的全氮和全磷含量

Fig. 4 Total nitrogen and phosphorus content of alfalfa and orchardgrass at different directions and distances from the jujube tree

### 2.3 牧草光合有效辐射变化特征

由图 5 可知,紫花苜蓿和鸭茅的光合有效辐射受所处方向显著影响( $P < 0.05$ )。位于枣树南侧的苜蓿和鸭茅接收到最高的光合有效辐射,全天平均值分别为  $216.2$  和  $216.7 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ,而北侧的光合有效辐射最低,平均值分别为  $133.5$  和  $129.5 \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ 。位于东侧和西侧的光合有效辐射居中(图 5)。在 4 个方向上,近距离的光合有效辐射在一整天持续低于远距离位置(图 5)。

### 2.4 土壤水分变化特征

如图 6 所示,土壤含水量在不同方向上没有显著变化,但随着土壤深度和与枣树距离而显著变化。垂直方向上,0~20 cm 土层的土壤含水量高于 20~40 cm 土层。种有紫花苜蓿和鸭茅 0~20 cm 土层平均土壤含水量分别为 4.2% 和 4.4%,20~40 cm 土层分别为 3.0% 和 3.1%,降低了 28.6% 和 29.5%(图 6)。在 4 个方向中,距离枣树越近,土壤含水量越小。远距离紫花苜蓿和鸭茅所处的平均土壤含水量分别为 4.0% 和 4.2%,近距离分别为 3.2% 和 3.4%(图 6)。

### 2.5 土壤养分变化特征

土壤碱解氮和速效磷含量在枣树 4 个方向上存在显著差异( $P < 0.05$ ) (图 7)。不论土层深度和距离如何变化,朝北方向最高,其次是东侧和西侧,南面含量最低。此外,距离枣树越近,土壤碱解氮和速效磷含量越高(图 7)。其中,对于种植紫花苜蓿的果园来说,枣树近距离土壤的碱解氮和速效磷平均含量分别为  $17.55 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $25.88 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,远距离分别为  $14.66 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $21.58 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;在种植鸭茅的果园中,近距离碱解氮和速效磷平均含量分别为  $47.45 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $29.78 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ ,远距离分别为  $35.72 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$  和  $22.53 \text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (图 7)。在垂直方向上,0~20 cm 土层的土壤碱解氮和速效磷含量大于 20~40 cm 土层。其中,与 0~20 cm 土层相比,种植苜蓿的 20~40 cm 土层土壤碱解氮和速效磷分别降低 37.0% 和 31.9%;种植鸭茅的 20~40 cm 土层分别降低 51.6% 和 44.3%(图 7)。

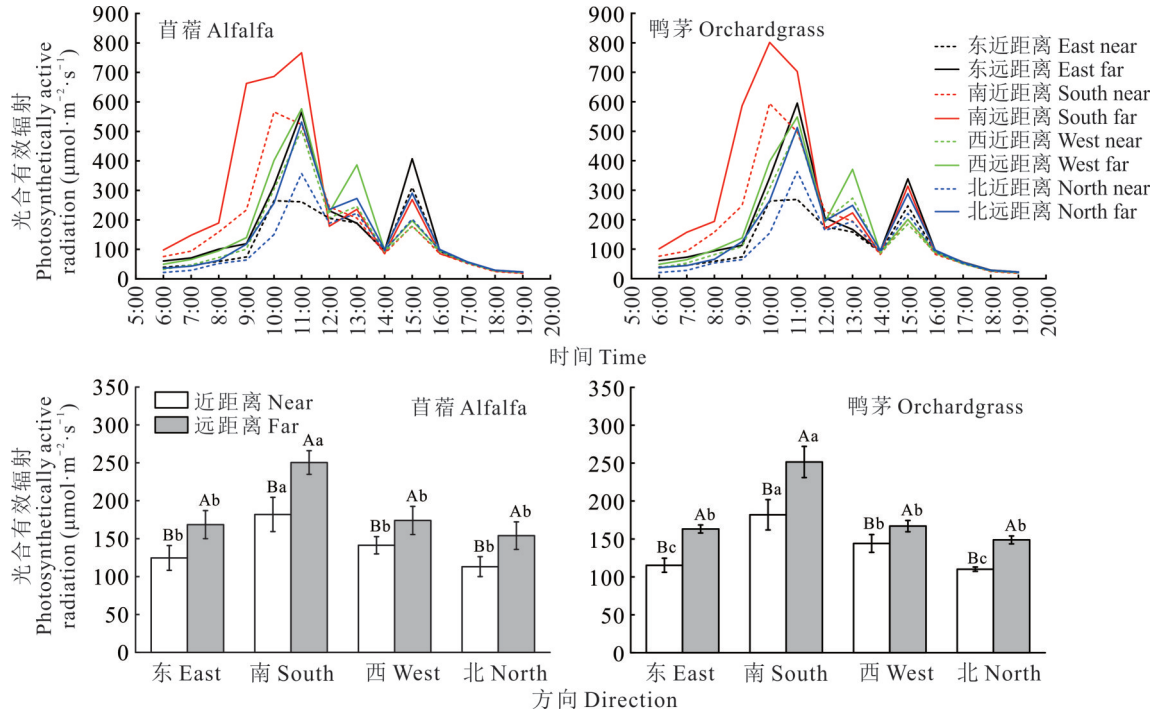


图5 枣树不同方向和距离上紫花苜蓿和鸭茅的光合有效辐射

Fig. 5 The photosynthetically active radiation of alfalfa and orchardgrass at different directions and distances from the jujube tree

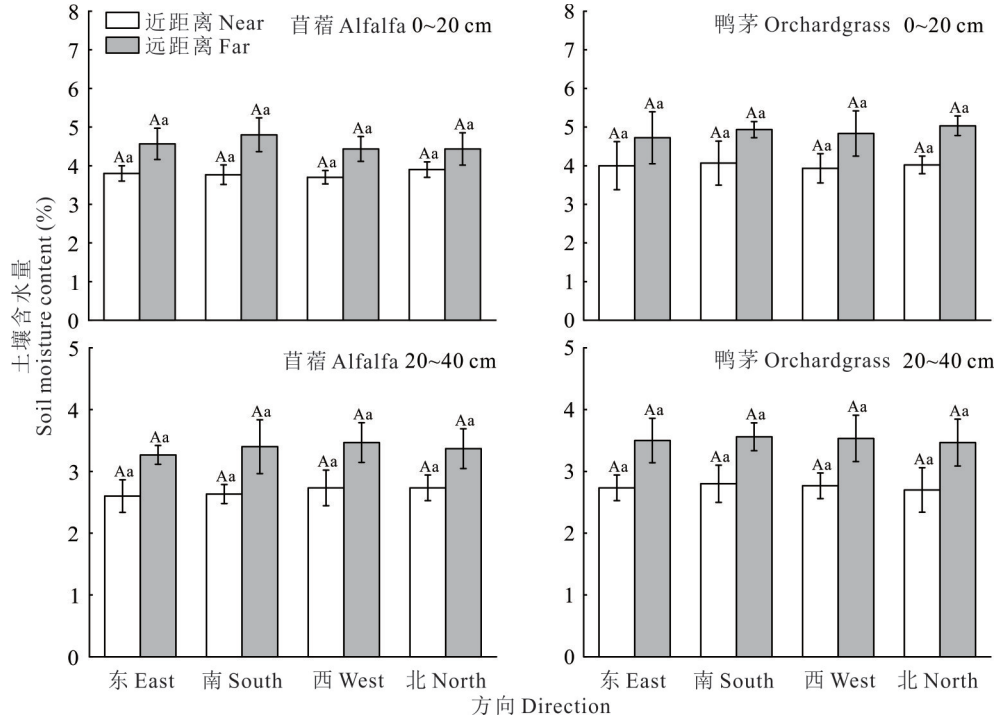


图6 枣树不同方向和距离的土壤含水量

Fig. 6 Moisture content of soil at different directions and distances from the jujube tree

### 3 讨论

#### 3.1 枣树对不同方位牧草生长的影响

由于复合系统中植物间水分和养分的竞争以及空间上的遮蔽<sup>[13,22]</sup>,果园中不同方位的苜蓿和鸭茅生长呈现明显差异。即使苜蓿和鸭茅具有不同的生物学特征,比如,鸭茅具有较强的耐阴性,紫花苜蓿表现出较高的抗旱

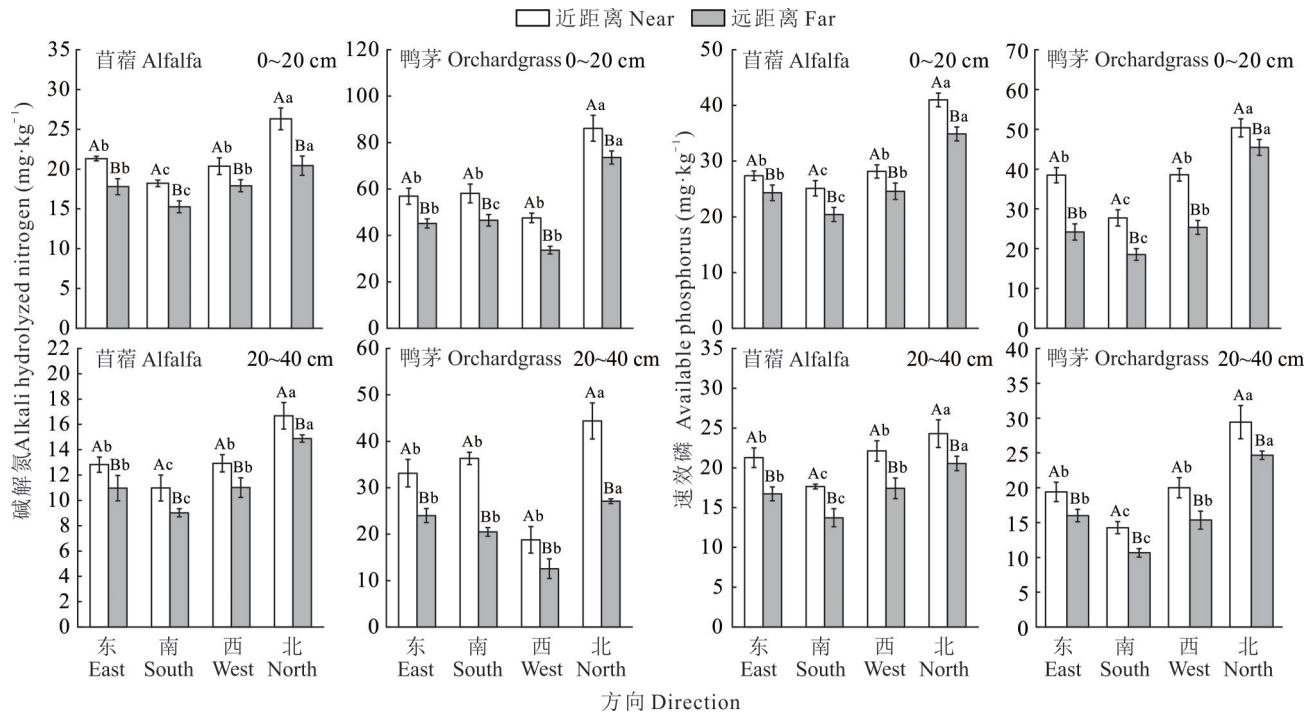


图7 枣树不同方向和距离上紫花苜蓿和鸭茅的土壤碱解氮和速效磷

Fig. 7 Soil alkali-hydrolytic nitrogen and available phosphorus of alfalfa and orchardgrass at different directions and distances from the jujube tree

能力。然而结果显示,枣树对不同方位苜蓿和鸭茅生长的影响基本一致:枣树南侧位置的苜蓿和鸭茅干重最高,北侧最低,东西位置的生长状况居中。同时,在枣树各个方向上,随着与枣树距离的缩短,苜蓿和鸭茅的生长受到更大程度地抑制。在核桃(*Juglans regia*)果园中不同方位草类植物地上生物量也呈现类似变化规律<sup>[13,23]</sup>。

### 3.2 枣树对牧草光照、水分和养分的竞争

光照是影响植物光合产物合成和积累的主要因素之一,对生长发育和生理代谢具有重要意义。在北半球,一年中太阳大部分时间位于植物的南侧,导致枣树长时间遮挡其北侧牧草的光照,使得北侧牧草的生物量最低,相反地,位于枣树南侧的牧草则获得最多的光照,并呈现最佳的生长状态。由于太阳东升西落,在果树东、西两侧的牧草接收到中等水平的光合有效辐射量,导致该区域内牧草生物量介于南北两侧之间。此外,枣树对牧草光照强度的影响还与其距离有关:与枣树距离越近,树冠对光照的遮挡程度越大<sup>[24]</sup>,牧草的光合有效辐射量及生物量则相应减少。众多研究表明,在农林复合系统中,光照匮乏是限制间作低矮作物生长的重要因素之一<sup>[24-25]</sup>。

果树的根系发达,但是随着水平与垂直距离增加,其根长以及根系密度等逐渐减少<sup>[26-27]</sup>。因此,土壤含水量并未受其所处方向影响,而与枣树距离有关:越靠近枣树,土壤含水量越低,导致近距离紫花苜蓿和鸭茅的生物量低于远距离。许多研究表明,间作系统中植物间存在激烈的水分竞争<sup>[28]</sup>,同时间作距离越近,水分竞争则愈加激烈<sup>[29]</sup>。

土壤氮磷养分含量受所处方向影响,枣树北侧最高,东西次之,南侧最低。然而紫花苜蓿和鸭茅的生长趋势与之相反,枣树北侧生物量最低,南侧最高,这说明不同方向上土壤养分的变化是由牧草吸收量不同导致的,而非枣树对其的竞争。与枣树距离越近,土壤可利用氮和磷的含量呈上升趋势,说明枣树对近距离的苜蓿和鸭茅在土壤养分方面也未产生竞争。果园中普遍施用大量无机或有机肥料以提供充足养分给牧草和果树,从而缓解了养分的竞争。此外,本研究中发现浅层土壤碱解氮和速效磷的含量高于深层土壤,表明部分被吸收的养分通过枣树的枯枝落叶和牧草凋落物归还了土壤<sup>[30]</sup>。同时,枣树的根系在养分循环中也起着重要作用。果树细根养分含量高,分解速度快,可以作为土壤养分来源来支持牧草生长<sup>[31]</sup>,从而很大程度上缓解了与牧草养分上的竞争。

### 3.3 枣树对牧草生长的主要抑制因素

在枣树各个方向,土壤水分并未显著变化,表明不同方向牧草生长与土壤水分无关。相反,光合有效辐射和土壤养分含量发生显著变化,但紫花苜蓿和鸭茅的生长仅与其光照有关。例如,枣树北侧的土壤氮磷养分含量最高,光合有效辐射量最低,而此处苜蓿和鸭茅的生长明显低于其他方向,说明牧草在不同方向上生长差异主要与枣树对光照竞争有关,而非土壤养分。Querné等<sup>[23]</sup>的研究也指出果园中不同方向上草类植物生长差异是由光照强度的差异所引起。

随着与枣树距离的减少,土壤养分含量有所增高,而光照和水分呈下降趋势,表明近距离紫花苜蓿和鸭茅不受土壤养分影响,而是面临枣树对光照和水分的双重竞争。在光照、土壤水分和养分等资源缺乏的条件下,为优化自身生长,植物会通过调整地上和地下部生物量的分配来获取更多的资源<sup>[32-33]</sup>。光照不足促使植物降低根冠比<sup>[34]</sup>,而水分不足则提高植物的根冠比<sup>[35]</sup>。然而,与枣树距离越近,紫花苜蓿和鸭茅的根冠比逐渐增大,说明在近距离牧草生长中,相较于光照限制,水分是限制牧草生长的主导因素。许多研究认为,间作系统中地下部资源之间存在更为激烈的竞争关系。例如黑胡桃(*Juglans nigra*)主要通过水分竞争而抑制玉米的生长,其次才是光照和养分的竞争以及化感作用<sup>[36]</sup>。

## 4 结论

枣树对光照的竞争导致不同方向上牧草生长的差异,位于枣树南面的紫花苜蓿和鸭茅生物量最高,其次为东面和西面,北面的生物量最低。在各个方向上,枣树主要通过水分的竞争而抑制近距离牧草的生长,其次是光照,在土壤养分方面与牧草未产生明显竞争。

### 参考文献 References:

- [1] Ringler C, Cai X, Wang J, *et al.* Yellow River basin: living with scarcity. *Water International*, 2010, 35(5): 681—701.
- [2] Zhang N, Zhang Q, Li Y Q, *et al.* Effect of groundcovers on reducing soil erosion and non-point source pollution in citrus orchards on red soil under frequent heavy rainfall. *Sustainability*, 2020, 12(3): 1146.
- [3] Wang Y, Huang Q, Gao H, *et al.* Long-term cover crops improved soil phosphorus availability in a rain-fed apple orchard. *Chemosphere*, 2021, 275(7): 130093.
- [4] Wei H, Zhang K, Zhang J, *et al.* Grass cultivation alters soil organic carbon fractions in a subtropical orchard of southern China. *Soil and Tillage Research*, 2018, 181(9): 110—116.
- [5] Wang P, Wang Y, Wu Q S. Effects of soil tillage and planting grass on arbuscular mycorrhizal fungal propagules and soil properties in citrus orchards in southeast China. *Soil and Tillage Research*, 2016, 155(1): 54—61.
- [6] Tan H, Jin X M, Cai M M, *et al.* Effects of cover crops on soil physical and chemical properties and bacterial community in organic kiwifruit orchards in Guanzhong region. *Acta Agrestia Sinica*, 2024, 32(3): 667—676.  
谭华, 靳旭妹, 蔡明明, 等. 生草对关中地区有机猕猴桃园土壤理化性质及细菌群落的影响. *草地学报*, 2024, 32(3): 667—676.
- [7] Yu J L, You L H, Xu H C, *et al.* Effects of artificial grass on improving soil quality and agronomic traits of chestnuts in a *Castanea henryi* orchard. *Pratacultural Science*, 2021, 38(12): 2460—2470.  
余锦林, 尤龙辉, 徐惠昌, 等. 果园生草改善土壤质量和锥栗农艺性状的效果. *草业科学*, 2021, 38(12): 2460—2470.
- [8] Ping X Y, Wang T M, Yao C Y, *et al.* Impact of floor management practices on the growth of groundcover species and soil properties in an apple orchard in northern China. *Biological Rhythm Research*, 2018, 49(4): 597—609.
- [9] Neilsen G, Forge T, Angers D, *et al.* Suitable orchard floor management strategies in organic apple orchards that augment soil organic matter and maintain tree performance. *Plant and Soil*, 2014, 378(1/2): 325—335.
- [10] Andersen L, Kühn B F, Bertelsen M, *et al.* Alternatives to herbicides in an apple orchard, effects on yield, earthworms and plant diversity. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 2013, 17(2): 1—5.
- [11] Li T F. Study on the ecological planting and breeding cycle model of “fruit—grass—sheep” in Weibei dryland. Yangling: Northwest A&F University, 2021.  
李腾飞. 渭北旱塬“果—草—羊”生态种养循环模式研究. 杨凌: 西北农林科技大学, 2021.

- [12] Wei W W, Liu T T, Zhang S, *et al.* Root spatial distribution and belowground competition in an apple/ryegrass agroforestry system. *Agricultural Systems*, 2024, 215(5): 47–58.
- [13] McGraw R L, Stamps W T, Houx J H, *et al.* Yield, maturation, and forage quality of alfalfa in a black walnut alley-cropping practice. *Agroforestry Systems*, 2008, 74(2): 155–161.
- [14] Wang M Z, Chang H C, Merrick J R, *et al.* Assessment of solar radiation reduction from urban forests on buildings along highway corridors in Sydney. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2016, 15(2): 225–235.
- [15] Haan D L J, Vasseur L. Above and belowground interactions in monoculture and intercropping of onion and lettuce in greenhouse conditions. *American Journal of Plant Sciences*, 2014, 5(21): 3319–3327.
- [16] Friday J, Fownes J. Competition for light between hedgerows and maize in an alley cropping system in Hawaii, USA. *Agroforestry Systems*, 2002, 55(2): 125–137.
- [17] Tsouliasiu N, Gebbers R, Zude-Sasse M. Using data on soil ECa, soil water properties, and response of tree root system for spatial water balancing in an apple orchard. *Precision Agriculture*, 2020, 21(3): 522–548.
- [18] Yang J, Zhang T, Wang Y, *et al.* Intercropped relationship change the developmental pattern of apple and white clover. *Bioengineered*, 2019, 2(3): 37–48.
- [19] Li C Y, Zheng L, Lu L H, *et al.* Improvement of H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> digestion method for determining total nitrogen in plants. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(6): 159–162.  
李朝英, 郑路, 卢立华, 等. 测定植物全氮的H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>-H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>消煮法改进. *中国农学通报*, 2014, 30(6): 159–162.
- [20] Li C. Analysis of determination conditions for alkaline hydrolysis diffusion method to measure alkaline hydrolysis nitrogen content in soil. *Xinjiang Youse Jinshu*, 2022, 45(1): 23–24.  
栗忱. 碱解扩散法测定土壤中碱解氮含量的测定条件分析. *新疆有色金属*, 2022, 45(1): 23–24.
- [21] Cheng L M, Chen L, Liu J L, *et al.* Precautions for determining available phosphorus in soil by sodium bicarbonate extraction-molybdenum antimony antibody colorimetric method. *Modern Agricultural Science and Technology*, 2009(3): 205.  
程乐明, 陈良, 刘建雷, 等. 碳酸氢钠浸提-钼锑抗比色法测定土壤有效磷的注意事项. *现代农业科技*, 2009(3): 205.
- [22] Baldissear T C, Frak E, Carvalho P C D, *et al.* Plant development controls leaf area expansion in alfalfa plants competing for light. *Annals of Botany*, 2014, 113(1): 145–157.
- [23] Querné A, Battie-laclau P, Dufour L, *et al.* Effects of walnut trees on biological nitrogen fixation and yield of intercropped alfalfa in a Mediterranean agroforestry system. *European Journal of Agronomy*, 2017, 84(6): 35–46.
- [24] Luo K, Yuan X T, Zuo J, *et al.* Light recovery after maize harvesting promotes soybean flowering in a maize-soybean relay strip intercropping system. *Plant Journal*, 2024, 15(7): 21–28.
- [25] Xu Q, Li H S, Chen X W, *et al.* Impact of fruit-tree shade intensity on the growth, yield, and quality of intercropped wheat. *PLoS One*, 2019, 14(4): 203–238.
- [26] Li Z Y, Wang X P, Yang Y H. Effect of drip irrigation tape laying pattern on root redistribution and yield of mature jujube trees. *Journal of Irrigation and Drainage*, 2021, 40(5): 1–7.  
李朝阳, 王兴鹏, 杨玉辉. 滴灌带铺设模式对成龄枣树根系再分布及产量的影响. *灌溉排水学报*, 2021, 40(5): 1–7.
- [27] Liu F, Wang P P, Cao Y Y, *et al.* Study on the distribution characteristics of root systems of typical herbaceous plants on the Loess Plateau and their effects on soil physicochemical properties. *Acta Prataculturae Sinica*, 2024, 3(2): 1–13.  
刘芳, 王佩佩, 曹玉莹, 等. 黄土高原典型草本植物根系分布特征及其对土壤理化性质的影响研究. *草业学报*, 2024, 3(2): 1–13.
- [28] Wu J, Zeng H, Chen C, *et al.* Can intercropping with the Chinese medicinal herbs change the water use of the aged rubber trees? *Agricultural Water Management*, 2019, 22(6): 105803.
- [29] Zhu M H, Jiang L M, Wu D Y, *et al.* Effects of water control and nitrogen addition on functional traits and rhizosphere microbial community diversity of *Haloxylon ammodendron* seedlings. *Forests*, 2023, 14(9): 21–25.
- [30] Parras-Alcántara L, Lozano-García B, Brevik E C, *et al.* Soil organic carbon stocks assessment in Mediterranean natural areas: A comparison of entire soil profiles and soil control sections. *Journal of Environmental Management*, 2015, 15(5): 219–228.
- [31] Saha S, Huang L, Khoso M A, *et al.* Fine root decomposition in forest ecosystems: an ecological perspective. *Frontiers in Plant Science*, 2023, 14(5): 1277510.
- [32] Chu C C, Coleman J S, Mooney H A. Controls of biomass partitioning between roots and shoots: atmospheric CO<sub>2</sub> enrichment

- and the acquisition and allocation of carbon and nitrogen in wild radish. *Oecologia*, 1992, 89(4): 580—587.
- [33] Poorter H, Niklas K J, Reich P B, *et al.* Biomass allocation to leaves, stems and roots: meta-analyses of interspecific variation and environmental control. *New Phytologist*, 2012, 193(1): 30—50.
- [34] Zheng J F, Ji F, He D X, *et al.* Effect of light intensity on rooting and growth of hydroponic strawberry runner plants in a LED plant factory. *Agronomy*, 2019, 9(12): 9120875.
- [35] Peck G M, Merwin I A, Thies J E, *et al.* Soil properties change during the transition to integrated and organic apple production in a New York orchard. *Applied Soil Ecology*, 2011, 48(1): 18—30.
- [36] Jose S, Gillespie R A, Seifert R J, *et al.* Defining competition vectors in a temperate alley cropping system in the midwestern USA: 3. Competition for nitrogen and litter decomposition dynamics. *Agroforestry Systems*, 2000, 48(1): 61—77.