

王沛娟,李 玲,李田甜,等. 不同配置模式下枣棉间作复合系统耗水特性研究[J]. 江苏农业科学,2022,50(8):207-214.  
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2022.08.037

# 不同配置模式下枣棉间作复合系统耗水特性研究

王沛娟,李 玲,李田甜,曹 娟,翟云龙,吴全忠,万素梅,陈国栋

(塔里木大学植物科学学院,新疆阿拉尔 843300)

**摘要:**采用大田试验,以典型农林间作模式枣棉间作为研究对象,通过设置 5 个不同处理(3 种不同间距的枣棉间作处理 Int 2、Int 4、Int 6,枣树单作处理 Sole J,棉花单作处理 Sole C),研究枣棉间作复合系统的耗水变化规律。结果表明,枣棉间作复合系统中,棉花不同生育阶段的土壤含水量存在显著差异,耗水量随棉花行数的增加而增加,间作模式中 Int 6 处理的总耗水量最大,Int 4、Int 6 处理较 Int 2 分别增加 8.6%、9.7%;土壤贮水消耗量与总耗水量变化趋势相似,Int 2 处理较 Int 4、Int 6 处理土壤贮水消耗量分别低 59.11、66.83 mm;棵间蒸发量随着棉花生育进程的推进呈逐渐降低的趋势,Int 2 处理较 Int 4、Int 6 处理的棵间蒸发量分别高 15.7%、22.3%;棉花不同生育时期,苗期棵间蒸发量最大,为 91.4 mm,花铃期次之,为 73.7 mm,吐絮期最小,为 26.1 mm;不同配置模式中,Int 2 处理蒸散比显著高于其他处理,与 Sole C 没有显著差异;间作配置模式各处理花铃期、吐絮期阶段的 ET 差异显著,蕾期和花铃期单作棉花和 Int 2 处理的 ET 最大,吐絮期则是 Int 6 处理和单作棉花的 ET 最小分别为 88.0 mm 和 83.4 mm;且不同生育时期苗期蒸散比最大,花铃期最小。枣棉间作系统中,随着棉花行数的增加,农田耗水量也不断增加。

**关键词:**枣棉间作;种植模式;耗水特性

**中图分类号:** S274.2;S344.2 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2022)08-0207-08

新疆维吾尔自治区作为极端干旱农业生产区,因其特殊的地理位置和稀少的降水量,造成了水资源的短缺。水是作物产量形成的重要因素之一,提高作物水分利用效率成为发展旱作节水农业的核心问题。农林复合系统构成的空间模式,可以有效提高作物的水分利用效率<sup>[1-2]</sup>。在水分利用方面,贾微等分析认为,农林间作系统可提高土地利用效率,减少土壤水分流失,进而提高土壤含水量;且农林间作系统构成多层次的复合生态系统,使土壤水分蒸发减少,蒸散量大幅度降低<sup>[3]</sup>。梁晓红等对高粱大豆间作复合系统研究表明,间作模式能够显著降低农田蒸散量<sup>[4]</sup>。孟平等对梨||麦、杏||麦间作系统进行研究发现,梨麦间作系统降低了小麦的日蒸腾耗水量,与单作麦地相比,提高了麦田的水分利用率<sup>[5]</sup>。李振吾等对农果间作研究结果表明,间作抑制系统内水分蒸发,较清耕果园,间作提高了

0~60 cm 土层的土壤含水量<sup>[6]</sup>。董宛麟等对农林复合系统研究指出,农林间作在一定程度上有防风降温增湿作用,减少地表蒸散作用,从而有利于提高土壤水分利用率<sup>[7]</sup>。晁海研究指出,杏||棉间作系统含水量明显高于单作棉田,杏||棉间作削弱了土壤蒸散作用,显著提高水分利用率<sup>[8]</sup>。

国内外大多数学者研究认为,在一定条件下,不同模式的农林间作复合系统中,适宜的作物空间分布可不同程度地提高水分利用率<sup>[9-11]</sup>。但也有研究表明,复合系统会造成作物叶片温度升高,进而提高作物蒸腾耗水,促使系统总耗水量增加<sup>[12]</sup>。叶优良等研究河西走廊地区豆科作物与玉米间作结果发现,在不同生育时期及条件下,2 种作物对水分吸收存在生态错位,因而间作系统能够减少水分用量并提高水分利用效率,在实际生产中具有较好的应用前景<sup>[13]</sup>。赵雪娇等对玉米||甘蓝间作同样发现,二者根系分布的错位降低对水分的竞争,从而对土壤水分达到高效利用<sup>[14]</sup>。Mao 等对玉米||豌豆间作研究表明,基于合理的间作空间设置,玉米||豌豆在提升土地利用效率的同时能够提高水分利用效率<sup>[15]</sup>。间作系统中有些深根作物从下层湿润土壤中吸收水分后,顺水势梯度将下层水分转移至上层并释放到周围的土壤中,这也是实现水分

收稿日期:2021-07-17

基金项目:国家自然科学基金(编号:31601272、31560377);塔里木大学校长基金(编号:TDZKJC201606)。

作者简介:王沛娟(1994—),女,山西忻州人,硕士研究生,主要从事作物高产理论与技术研究。E-mail:1291850104@qq.com。

通信作者:陈国栋,副教授,硕士生导师,主要从事作物高产、农业可持续发展研究。E-mail:cgdzky@163.com。

互补利用的重要途径<sup>[16]</sup>。近年来,南疆地区大力发展农果间作系统,而针对农果间作复合系统耗水特性的研究较少。因此,本试验以枣树间作棉花为对象,在不同田间配置下,对间作系统的耗水特征进行分析,以期农果间作种植技术提供科学的理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验地概况

试验于 2019 年在塔里木大学园艺试验站枣园(地理位置 40°32′20″N, 81°17′57″E, 平均海拔 1 015 m)进行。塔里木河上游,地属暖温带大陆干旱荒漠气候区,光照时间长,无霜期 220 d,地下水深埋在 3 m 以下;冬季少雪,地表蒸发量大,空气十分干燥;土壤为沙壤土,风沙扬尘天气经常发生,主要出现在春季和夏季;春季升温快但不稳定,秋季降温迅速。试验地土壤基本养分状况:pH 值为 7.90,

含有机质 11.2 g/kg、全氮 1.51 g/kg、速效磷 58.7 mg/kg、速效钾 107.34 mg/kg。供试枣园于 2012 年酸枣直播建园,2014 年嫁接灰枣,2019 年进行枣园修整,枣树株行距配置为 3 m × 1 m,南北行向,枣园树高为 1.0 ~ 1.5 m,树冠直径为 0.7 ~ 0.9 m;棉花品种为新陆中 82 号。

### 1.2 年度气象因子分析研究

根据新疆阿拉尔市气象局提供的气象数据,试验区 2019 年高温天气在 7—8 月,且降水量(93.1 mm)远高于长期平均水平(近 70 年平均值为 48.1 mm),为典型的丰水年。27 次降水都分布在棉花生育期内(图 1),其中单次降水量 >8 mm 的有 4 次,累计 51.1 mm,占生育期降水量的 54.9%;单次降水量 <2 mm 的有 14 次,累计 7.2 mm,占生育期降水量的 7.7%。2019 年试验田共灌水 10 次,共计 525 mm,较传统灌水量(600 mm)少 75 mm。可见,作物生育期耗水量 80% 以上来源于灌溉。

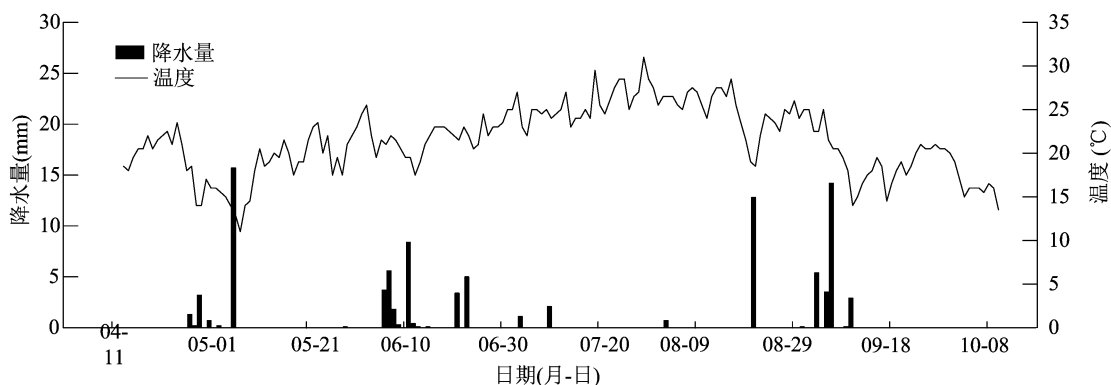


图1 棉花生育期内温度和降水量分布情况

### 1.3 试验设计

试验设枣棉间作(Int)、枣树单作(Sole J)、棉花单作(Sole C)3 种植模式。枣棉间作设 3 种田间配置方式(图 2),分别为: Int 6,在 2 行枣树间种植 6 行棉花,枣棉间距为 0.50 m; Int 4,在 2 行枣树间种植 4 行棉花,枣棉间距为 1.00 m; Int 2,在 2 行枣树间种植 2 行棉花,枣棉间距为 1.45 m。棉花单作采用 1 膜 6 行种植模式,行距为(66 + 10) cm;枣树单作,不种植任何其他作物。试验采用随机完全区组设计,共 5 个处理,重复 3 次,每小区面积为 30 m<sup>2</sup> (10 m × 3 m)。

间作各处理分别选择 3 株长势相差不大的枣树作为标准木,以标准木为中心,垂直于树行方向,在距离标准木 0.5、1.0、1.5 m 处定取样点(图 2),测定土壤含水量、根系和棵间蒸发量。枣树株行距配

置为 3.0 m × 1.5 m,供试棉花品种为新陆中 36 号。棉花采用地膜覆盖,灌溉方式为滴灌,试验中其他管理措施与当地习惯水平相同。棉花于 4 月 13 日播种,10 月 20 日收获。

### 1.4 测定指标与方法

土壤含水量:采用烘干法测定,土壤水分的测定在垂直方向上依次为 0 ~ 20、20 ~ 40、40 ~ 60、60 ~ 80、80 ~ 100 cm。

土壤棵间蒸发量:采用微型蒸发器(micro-lysimeter,简称 MLS)测定棉花行间土壤棵间蒸发量,MLS 采用直径 10 cm、高 10 cm 的 PVC(聚氯乙烯)管制成,用塑料薄膜封底,将 MLS 放入预埋在田间直径 12 cm、高 10 cm 的 PVC 外套管中,MLS 顶部与地面平齐(图 2)。土壤棵间蒸发为 2 次测量的差值,用精度为 0.02 的 LP3102 型电子天平每天称质

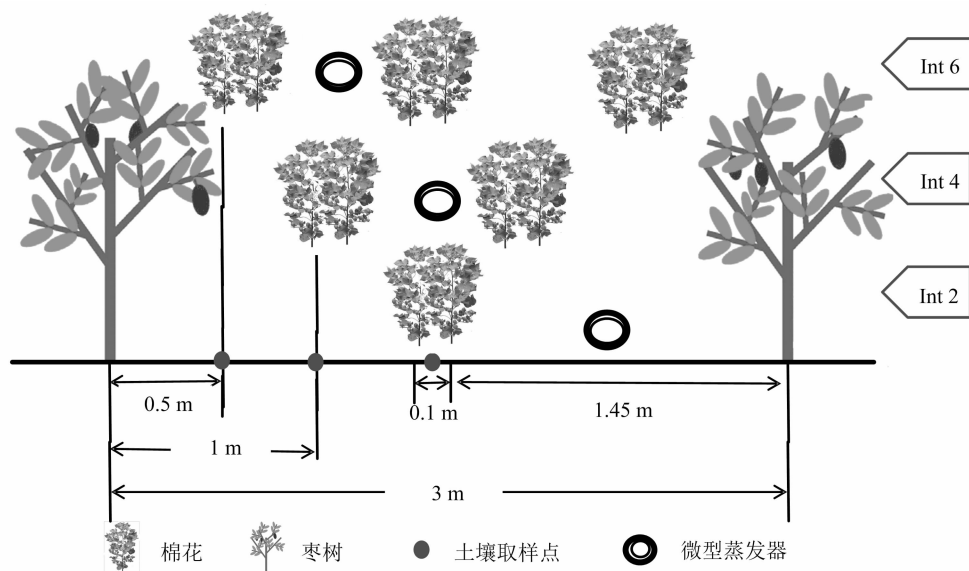


图2 枣棉间作田间配置及取样点

量以计算土壤裸间蒸发量。微型蒸发器中土样每减少 1 g 相当于蒸发水分 0.105 1 mm。每 2 d 测定 1 次,于早晨 07:00 取样,2 次测定后更换 MLS 中的土。另外,下雨或滴水后更换 MLS 中的土,目的是保证 MLS 内部的土壤剖面与周围土壤保持一致。

土壤水分效应计算公式为

$$E_f = (M - M_d) / M_d \times 100\% \quad (1)$$

式中: $E_f$  为水分效应; $M$  为枣棉间作系统中 0 ~ 100 cm 土层土壤含水量; $M_d$  为对应枣树、棉花单作时的土壤含水量。当  $E_f > 0$  时,表明枣棉间作系统有益于土壤水分的提升,间作系统在水分利用方面为正效应;当  $E_f < 0$  时,表现为负效应。

土壤贮水量:用 0 ~ 100 cm 土壤含水量计算土壤贮水量(SWS),计算公式为

$$SWS = \sum_{i=1}^5 h \times \rho \times \theta \times 10 \quad (2)$$

式中, $h$  为土层厚度,cm; $\rho$  为土壤容重,g/cm<sup>3</sup>, $\theta$  为土壤质量含水量。

生育期耗水量计算公式为:

$$ET = P + I + SWS_o - SWS_h \quad (3)$$

式中: $P$  为生育期内降水量; $I$  为生育期内灌溉量; $SWS_o$  为播前土壤贮水量; $SWS_h$  为收获后土壤贮水量。

## 2 结果与分析

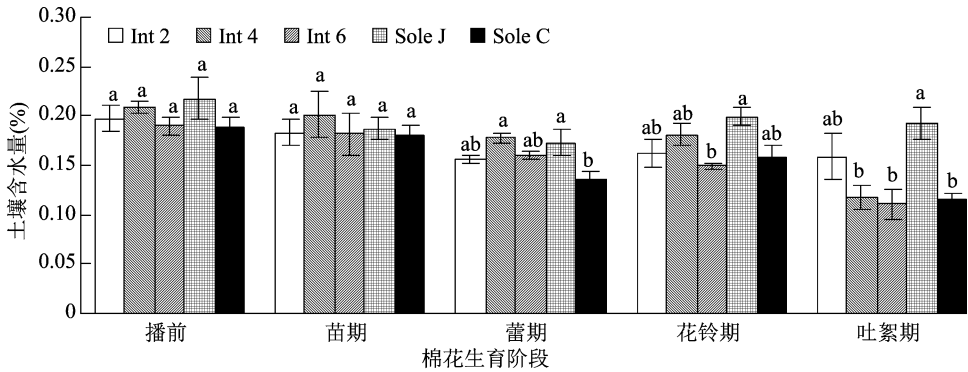
### 2.1 不同种植模式土壤水分时间变化特征

各处理土壤含水量随棉花生育时期的变化而变化(图 3),各生育期间作模式总体无显著差异。

研究表明,随着枣树、棉花的生长发育,土壤含水量大体呈降低趋势,表现为播前 > 苗期 > 花铃期 > 蕾期 > 吐絮期。在棉花不同生育阶段,田间配置方式对土壤含水量的影响不同。苗期各系统各处理土壤含水量差异不显著( $P > 0.05$ );棉花蕾期,Int4、Sole J 处理土壤含水量与 Int 2、Int 6 处理无显著差异,但与 Sole C 相比有显著差异( $P < 0.05$ ),且分别高 30.8%、27.5%;至花铃期,Sole J 处理土壤含水量与其他处理无显著差异( $P < 0.05$ ),较 Int6 处理高 33.1%;至吐絮期,Sole J 处理土壤含水量分别较 Int 4、Int 6、Sole C 处理高 64.1%、73.1%、68.0% ( $P < 0.05$ )。

### 2.2 不同种植模式对垂直方向土壤水分变化的影响

各系统各处理土壤含水量的分布规律因配置模式、生育阶段不同而不同。由图 4 可知,苗期各处理土壤含水量在 40 ~ 100 cm 土层差异较大,Sole J 处理土壤含水量在 0 ~ 20、60 ~ 80 cm 土层处高于其他处理,40 ~ 60 cm 土层深度各处理的土壤含水量变化表现为 Sole C > Int 4 > Int 2 > Int 6 > Sole J 处理,主要原因可能是枣树水分吸收区域不同。蕾期除 40 ~ 60、80 ~ 100 cm 2 个土层深度外,其他土层 Int 4、Int 6、Sole C 处理的土壤含水量均大于 Int 2、Sole J 处理,可能主要是田间覆盖度不同造成的。花铃期棉花单作系统土壤垂直方向含水量明显高于间作系统和枣树单作系统,此时间作复合系统内枣树和棉花对水分的竞争主要发生在 20 cm 以下的土层深度。吐絮期随着作物耗水的增加,除 Sole C



柱上不同小写字母表示相同生育期不同种植模式在 0.05 水平上差异显著。图 7 同

图3 棉花生育期内间作群体土壤含水量变化动态

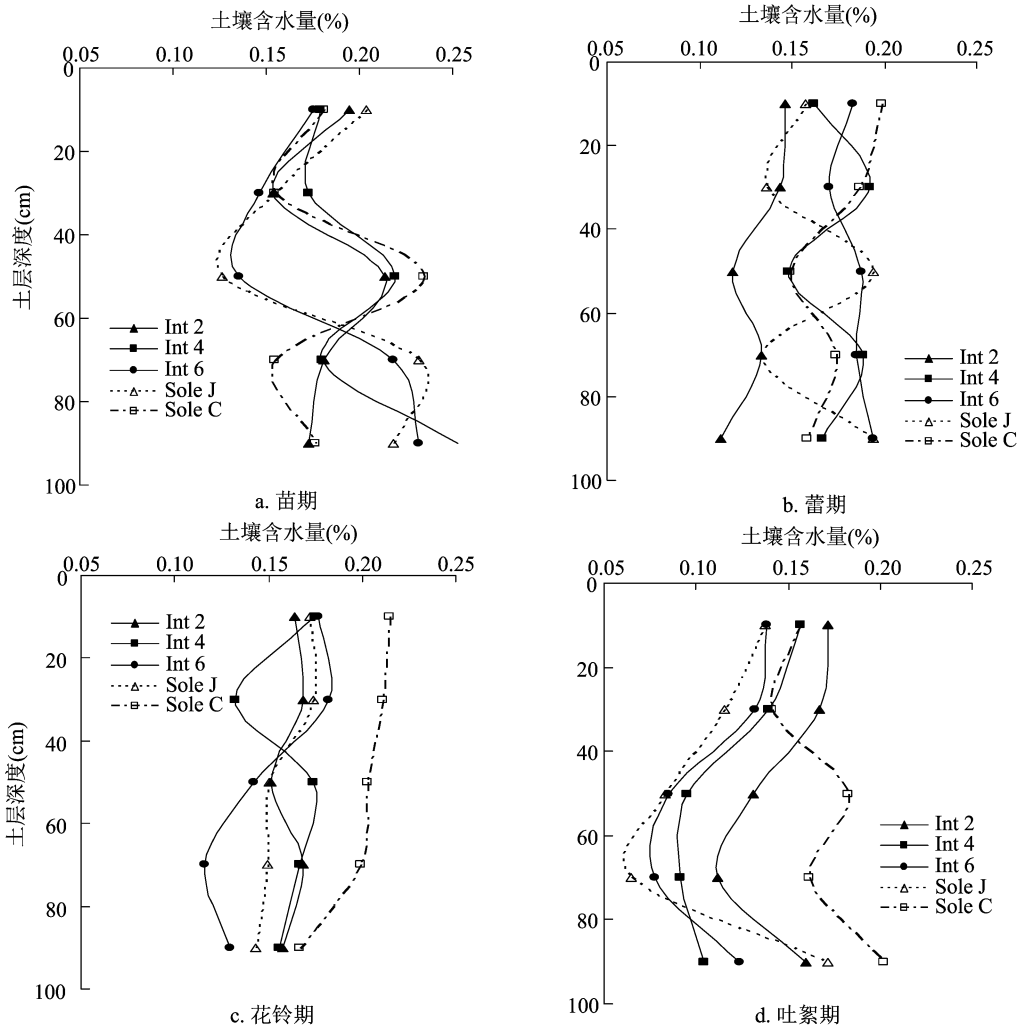


图4 棉花生育期各处理土壤含水量分布

处理外,各处理在 0 ~ 100 cm 土层土壤含水量的大体变化规律为先降低后上升,棉花单作系统土壤含水量在 40 ~ 100 cm 土层高于间作系统和枣树单作系统,此时间作复合系统中枣树和棉花对水分的竞争发生在整个测定土层内,间作复合模式表现出明显的“提水效应”<sup>[17]</sup>。总体而言,棉花花铃期和吐

絮期单作 Sole C 处理的土壤含水量总体高于各间作处理,提高了不同土层深度水分的利用。

2.3 不同枣棉间作系统土壤水分效应

从棉花 4 个生育时期总体来看(表 1),与 Sole J 相比,除花铃期间距为 1.5 m 外,枣棉间作系统内各处理土壤水分效应均为正效应,分别为 14.7%、

16.6%、4.9%。随着棉花与枣树间距的增大,苗期、蕾期土壤水分正效应均呈先增后减的趋势,吐絮期土壤水分正效应呈递减的趋势;从生育期来看,土壤水分效应表现为苗期 < 花铃期 < 吐絮期 < 蕾期。与 Sole C 相比,枣棉间作系统内 In2、In6 处理土壤水分效应均表现为负效应,生育期内各处理的平均

土壤水分效应分别为 -11.7%、-8.0%、-17.1%。随着枣棉间距的增大,苗期和吐絮期其土壤水分效应呈先增后减的趋势,蕾期与花铃期则呈先减后增的趋势;从生育期来看,土壤水分负效应表现为苗期 < 吐絮期 < 蕾期 < 花铃期。总体而言枣棉间作复合系统明显有益于土壤水分的提升。

表 1 不同田间配置下枣棉间作系统土壤水分效应

| 比较对象      | 间距<br>(m) | 土壤水分效应(%) |       |        |        |
|-----------|-----------|-----------|-------|--------|--------|
|           |           | 苗期        | 蕾期    | 花铃期    | 吐絮期    |
| 与枣树单作系统相比 | 0.5       | 1.56      | 15.02 | 5.62   | 36.53  |
|           | 1.0       | 14.55     | 31.93 | 18.31  | 1.51   |
|           | 1.5       | 3.20      | 19.60 | -3.16  | 0.12   |
| 与棉花单作系统相比 | 0.5       | -2.05     | -9.47 | -17.75 | -17.33 |
|           | 1.0       | 9.85      | 4.29  | -8.78  | -37.49 |
|           | 1.5       | -0.48     | -6.25 | -24.34 | -37.48 |

2.4 不同种植模式对枣棉间作系统总耗水量及其来源的影响

在降水量与灌水量一致的情况下,农田耗水量因田间配置的不同而不同,各处理作物耗水主要来源于农田灌溉(表 2)。枣棉间作、枣树单作和棉花单作 3 种不同种植模式耗水量表现为:Sole C > Int 6 > Int 4 > Int 2 > Sole J。以单作耗水量加权平均为对照进行比较,间作各处理耗水量较单作增加 3.3%,间作复合模式各处理的总耗水量与单作差异无明显变化。枣棉间作下,不同田间配置各处理耗水量随棉花行数的增加呈现递增趋势,Int 4、Int 6 处理

耗水量分别较 Int 2 增加 8.6%、9.7%;且 Int 4、Int 6 处理与单作 Sole C 相比,总耗水量分别减少 18.10、10.38 mm。

间作系统各处理与单作系统相比,土壤贮水消耗量表现为 Sole C 处理最高,为 145.94 mm,枣棉间作各处理次之,Sole J 处理最低,为 28.5 mm,表明田间配置中群体模式有利于土壤贮水的利用。间作系统 Int 4、Int 6 处理间土壤贮水消耗量无显著差异,与 Int 2 处理相比有显著差异。由此表明,增加复合系统中棉花种植行数有利于提高土壤贮水消耗量。

表 2 不同处理田间耗水量的水分来源及其占总耗水量的比例

| 处理     | 总耗水量<br>(mm) | 灌水量    |       | 降水量    |       | 土壤贮水消耗量  |       |
|--------|--------------|--------|-------|--------|-------|----------|-------|
|        |              | 数量(mm) | 比例(%) | 数量(mm) | 比例(%) | 数量(mm)   | 比例(%) |
| Int 2  | 686.83b      | 525    | 76.44 | 93.1   | 13.55 | 68.73c   | 10.13 |
| Int 4  | 745.94a      | 525    | 70.38 | 93.1   | 12.48 | 127.84b  | 16.81 |
| Int 6  | 753.66a      | 525    | 69.66 | 93.1   | 12.35 | 135.56ab | 17.84 |
| Sole J | 646.63b      | 525    | 81.19 | 93.1   | 14.4  | 28.52d   | 4.29  |
| Sole C | 764.04a      | 525    | 68.71 | 93.1   | 12.19 | 145.94a  | 18.42 |

注:同列不同小写字母表示在 0.05 水平上差异显著。表 3 同。

2.5 不同种植模式对枣棉间作系统土壤贮水消耗量垂直分布的影响

在主要生育期内,枣棉间作、棉花单作、枣树单作在不同深度土层土壤贮水的消耗量有明显差异(图 5)。Sole J 处理在 0~40、60~80 cm 土层的土壤贮水消耗量无明显差异,在 80 cm 土层以下的土壤贮水消耗量为 -9.5 mm,说明该系统能够充分利

用各土层的土壤水分;Sole C 处理主要利用 80 cm 以上土层的水分;间作群体利用水分最多的土层范围为 20~80 cm,0~10、80~100 cm 土壤贮水消耗量较低。间作系统各处理比较,Int 4 处理整个区域内的土壤贮水消耗量基本高于 Int 2 和 Int 6 处理,在 80~100 cm 土层 Int 4 处理土壤贮水消耗量与 Int 2 处理和单作棉花无明显差异。

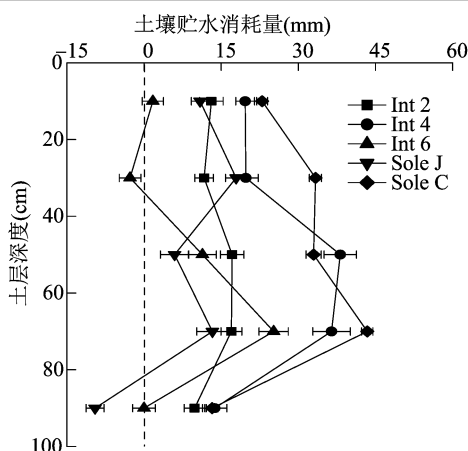


图5 不同处理全生育期 0~100 cm 土层土壤贮水消耗量

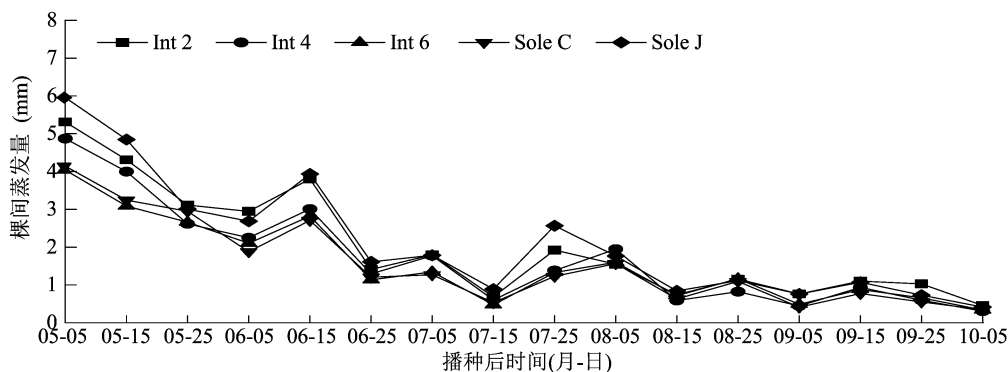


图6 不同处理生育阶段棵间蒸发量动态变化

由图 7 可知, Int 2 处理的  $E/ET$  最大, 为 39.9%, Sole C 处理次之, 为 36.9%, 且与 Int 4、Int 6 和 Sole J 处理均有显著差异, Int 4、Int 6 处理  $E/ET$  的无显著差异 ( $P > 0.05$ )。不同间作处理间比较, Int 2 处理  $E/ET$  分别较 Int 4、Int 6 处理高 28.9% 和 22.6%。Int 4 和 Int 6 处理  $E/ET$  与 Sole J 处理均无显著差异, 较 Sole C 处理分别低 13.8% 和 14.4%。

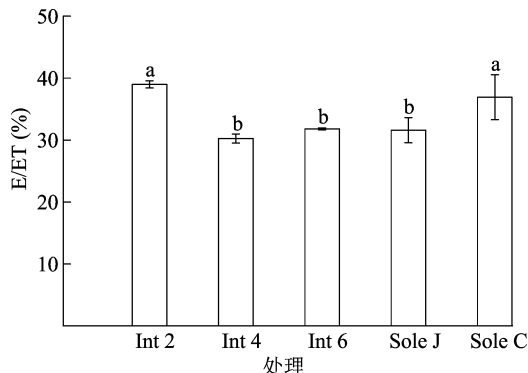


图7 不同处理的蒸散比

## 2.7 田间配置对枣棉间作系统阶段耗水量的影响

为进一步明确枣棉间作系统的耗水特征, 对不同生育时期  $E$ 、 $ET$ 、 $E/ET$  的变化进行分析(表 3), 结果表明: 所有处理平均蒸发量表现为苗期最大, 花

## 2.6 不同种植模式对枣棉间作系统棵间蒸发量 ( $E$ )、蒸散比 ( $E/ET$ ) 的影响

间作系统及单作系统内对  $E$  均有不同程度的影响(图 6)。从时间上看, 随着作物生长发育的推进  $E$  总体呈逐渐降低的趋势, 表现为: Sole J > 枣棉间作 > Sole C, 分别为 280.2、233.8、203.8 mm; 单作加权平均  $E$  较枣棉间作高 3.4%, 说明在一定程度上间作群体能够降低农田蒸散量。各处理间, Sole C 和 Int 6 处理较 Int 2、Int 4、Sole J 处理分别低 23.9%、9.7%、27.3% 和 22.3%、7.8%、25.8%; Int 4 处理较 Int 2 处理低 15.7%。综上所述, 枣棉间作中棉花种植行数的增加有利于抑制农田蒸发。

铃期次之, 吐絮期最小,  $ET$  花铃期最大, 蕾期次之, 吐絮期最小; 苗期  $E/ET$  值最大, 花铃期最小。说明苗期是减少土壤无效蒸散的关键时期, 花铃期是间作棉田耗水的主要时期。

系统各处理内, Int 2、Sole J 处理的  $E$  值为最高, Int 4、Int 6 处理在苗期、花铃期和吐絮期均无显著差异。不同生育阶段  $ET$  变化因田间配置方式不同而不同, 苗期各处理的  $ET$  均无显著差异; 蕾期和花铃期 Sole C、Int 2 处理低于 Sole J、Int 4 和 Int 6 处理, 蕾期 Int 6 处理的  $ET$  较 Int 2 处理高 10.3%, 花铃期 Int 6 处理的  $ET$  较 Int 2、Int 4 分别高 16.2%、18.5%; 吐絮期 Int 6、Sole C 处理的  $ET$  值较低, 分别为 87.98 mm 和 83.35 mm。间作模式下, 除吐絮期外, 不同生育阶段  $E$ 、 $E/ET$  随棉花种植行数的增加而减小。

## 3 讨论与结论

水是植物生长发育不可或缺的自然资源<sup>[18]</sup>, 农果间作群体较单作有利于提高土壤贮水的利用。随着作物物候期的推进, 间作作物对土壤水分竞争明显, 在一定时期和范围内, 果树和作物存在水分

表 3 不同处理各生育时期 E、ET、E/ET 变化

| 处理     | 苗期      |         |         | 蕾期     |          |         | 花铃期     |         |         | 吐絮期    |         |         |
|--------|---------|---------|---------|--------|----------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|
|        | E(mm)   | ET(mm)  | E/ET(%) | E(mm)  | ET(mm)   | E/ET(%) | E(mm)   | ET(mm)  | E/ET(%) | E(mm)  | ET(mm)  | E/ET(%) |
| Int 2  | 103.68a | 159.75a | 64.90a  | 52.12a | 158.42b  | 32.90a  | 78.48ab | 272.94b | 28.75a  | 33.46a | 95.72a  | 34.95a  |
| Int 4  | 88.63b  | 162.76a | 54.45ab | 43.01b | 167.04ab | 25.75b  | 71.15b  | 317.05a | 22.44b  | 22.79b | 99.08a  | 23.00c  |
| Int 6  | 78.46b  | 167.47a | 46.85b  | 39.57c | 174.70a  | 22.65c  | 66.31b  | 323.51a | 20.50c  | 23.61b | 87.98b  | 26.83bc |
| Sole J | 105.37a | 166.02a | 63.47a  | 55.46a | 171.79a  | 32.29a  | 89.63a  | 322.72a | 27.77a  | 29.76a | 103.51a | 28.75b  |
| Sole C | 80.68b  | 154.90a | 52.09ab | 39.12c | 149.46b  | 26.17b  | 63.15b  | 258.89b | 24.39b  | 20.80b | 83.35b  | 24.96c  |

生态位的重叠<sup>[19-20]</sup>。白伟研究了仁用杏作物间作,结果表明作物生长前期水分充足,作物与杏之间未产生竞争,至生殖生长阶段,对水分竞争明显增强<sup>[21]</sup>。王克林等研究表明,杨树||玉米间作系统竞争的存在提高了土壤水分的利用率,显著降低了土壤含水率<sup>[22]</sup>。本研究中,与棉花单作系统相比,由于枣树、棉花间存在对水分的竞争,促进了枣树根系生态位的变化;枣树根系趋于深层分布,提水作用明显加强,表现为水分的互补性。然而种间的互补作用是有限的,与棉花单作系统相比,虽然枣树茂盛的枝叶具有减少蒸发的作用,但枣棉间作对土壤水分的消耗远大于枣树单作,竞争作用大于互补,在水分的效益方面总体表现为对水分的种间竞争作用。

间作群体耗水量因气候条件、作物种类、施肥量、离树间距、株行配置、密度的不同而不同<sup>[23-25]</sup>,其中,间作系统内作物间距模式配置是调控农林间作系统作物竞争作用强度的重要因素<sup>[26]</sup>。果农间距过大,虽种间竞争变小,但不利于土地的有效利用;间距过小,种间竞争过于强烈,达不到资源互补的目的。适宜的间距能够协调种间的竞争和互补作用,有效发挥复合群体增产增效和资源高效利用的作用<sup>[27]</sup>。大多数研究表明,土壤水分随着树行距离的增加而减少,土壤水分效应表明果树对作物存在竞争关系<sup>[28-29]</sup>,本研究也得出了同样的结论。另外,在对不同生育期各处理土壤水分垂直分布研究中发现,棉花花铃期是间作复合群体水分竞争最激烈的时期,随着间距的增加,竞争作用不断增强,存在分层利用土壤水分的现象。

种植模式和田间配置对农田总耗水量、棵间蒸发量和土壤贮水消耗量均存在显著影响。果园单作时地表裸露多,无效棵间蒸发大;与作物间作时,因地表覆盖能有效抑制棵间水分蒸发,改善土壤贮水性能,从而增强了土壤对水分的保蓄能力<sup>[30]</sup>。本

研究中,生育期内棵间蒸发量检测结果表明,枣棉间作棵间蒸发量低于单作,且棉花种植行数越多农田蒸发越低。土壤贮水消耗量一定程度上决定着间作系统的总耗水量,农艺调控措施如种植密度、水肥、覆盖、间距等能够促进不同土层土壤贮水利用的有效性,但也有研究表明深层土壤水分的过耗会导致土壤干燥化现象<sup>[31]</sup>。本研究结果表明,枣树单作系统能较多利用土壤深层的水分,枣棉间作系统能够分层利用水分,增加棉花行数有助于促进土壤深层贮水。作物最大耗水时期同样是农果间作阶段耗水盛期<sup>[32]</sup>,本研究中枣棉间作耗水的主要时期为花铃期。

间作较单作系统而言,其耗水量、土壤贮水消耗量随棉花行数的增加而显著增加。花铃期是间作棉田耗水的主要时期,棵间蒸发量随着棉花生育进程的推进而逐渐降低;苗期是减少土壤无效蒸散的关键时期;阶段棵间蒸发量和蒸散比大体表现为随棉花种植行数的增加而减小,说明枣棉间作复合系统相对于单作,能更好地利用农田水分。因此,枣棉间作在南疆推广具有重要意义。但随着枣树逐年不断的生长发育,对作物的影响也会体现出不同差异,因此最佳种植模式还需通过大量的试验进行探索。

参考文献:

[1] Walker S, Ogindo H O. The water budget of rainfed maize and bean intercrop[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2003, 28(20/21/22/23/24/25/26/27): 919-926.

[2] Kanton R A L, Dennett M D. Water uptake and use by morphologically contrasting maize/pea cultivars in sole and intercrops in temperate conditions[J]. Experimental Agriculture, 2004, 40(2): 201-214.

[3] 贾微, 孙占祥, 白伟, 等. 农林间作复合生态系统研究进展[J]. 辽宁农业科学, 2013, 54(4): 41-46.

[4] 梁晓红, 曹雄, 张瑞栋, 等. 高粱和大豆间作对土壤水分分布及水分利用效率的影响[J]. 河南农业科学, 2021, 50(7): 30-38.

- [5] 孟 平, 张劲松. 梨麦间作系统水分效应与土地利用效应的研究[J]. 林业科学研究, 2004, 17(2): 167–171.
- [6] 李振吾, 籍增顺. 山西旱地农业高效持续发展模式研究[J]. 干旱地区农业研究, 2001, 19(1): 108–114.
- [7] 董宛麟, 张立祯, 于 洋, 等. 农林间作生态系统的资源利用研究进展[J]. 中国农学通报, 2011, 27(28): 1–8.
- [8] 晁 海. 杏棉间作系统小气候效应的研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆农业大学, 2007.
- [9] Droppelmann K J, Lehmann J, Ephrath J E, et al. Water use efficiency and uptake patterns in a runoff agroforestry system in an arid environment[J]. Agroforestry Systems, 2000, 49(3): 223–243.
- [10] 孟 平, 樊 巍, 宋兆民, 等. 农林复合系统水热资源利用率的研究[J]. 林业科学研究, 1999, 12(3): 256–261.
- [11] 陆光明, 马秀玲, 周厚德, 等. 农林复合系统中农田蒸散及作物水分利用效率的研究[J]. 北京农业大学学报, 1992, 18(4): 409–415.
- [12] Brenner A J, Jarvis P G, van den Beldt R J. Windbreak – crop interactions in the Sahel. 1. Dependence of shelter on field conditions[J]. Agricultural and Forest Meteorology, 1995, 75(4): 215–234.
- [13] 叶优良, 李 隆, 孙建好. 三种豆科作物与玉米间作对水分利用的影响[J]. 灌溉排水学报, 2008, 27(4): 33–36.
- [14] 赵雪娇, 孙东宝, 王庆锁. 玉米 || 甘蓝间作对土壤水分时空分布及水分利用效率的影响[J]. 中国农业气象, 2012, 33(3): 374–381.
- [15] Mao L L, Zhang L Z, Li W Q, et al. Yield advantage and water saving in maize/pea intercrop[J]. Field Crops Research, 2012, 138: 11–20.
- [16] Sekiya N, Araki H, Yano K. Applying hydraulic lift in an agroecosystem: forage plants with shoots removed supply water to neighboring vegetable crops[J]. Plant and Soil, 2011, 341(1/2): 39–50.
- [17] 樊小林, 曹新华, 郭立彬, 等. 根系提水作用的土壤水分变异及养分有效性 II. 黄土性土壤水肥交互和根系提水作用与作物生长效应[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 10(4): 71–76.
- [18] 王 旗, 丁留谦, 苏志诚, 等. 基于网络监测平台的农林间作耗水特征和灌溉制度[J]. 节水灌溉, 2014(10): 1–5, 10.
- [19] 云 雷, 毕华兴, 任 怡, 等. 晋西黄土区核桃玉米间作界面土壤水分变化规律及其对玉米产量的影响[J]. 西北林学院学报, 2010, 25(1): 47–51.
- [20] 高 阳. 玉米/大豆条带间作群体 PAR 和水分的传输与利用[D]. 北京: 中国农业科学院, 2009.
- [21] 白 伟. 科尔沁沙地南缘仁用杏作物间作对农田生产力和水分利用的影响[D]. 沈阳: 沈阳农业大学, 2016.
- [22] 王克林, 黄 月, 孙学凯, 等. 辽北地区杨树玉米间作对土壤水分和养分含量的影响[J]. 生态学杂志, 2016, 35(9): 2386–2392.
- [23] 李倩倩, 王星运, 李孟浩, 等. 小麦玉米间作和氮肥对作物耗水特性及水分利用的影响[J]. 西北农业学报, 2021, 30(6): 819–828.
- [24] 徐 鹏, 陈国栋, 吴全忠, 等. 南疆地区田间配置对枣棉间作耗水特性的调控效应[J]. 干旱地区农业研究, 2019, 37(5): 46–54.
- [25] 周 宣, 王若水, 李超楠, 等. 不同水分调控对晋西黄土区苹果大豆间作系统细根分布与耗水特性的影响[J]. 水土保持学报, 2019, 33(1): 118–126.
- [26] 孟炎奇, 刘永福, 万素梅, 等. 离树间距对间作苜蓿土壤理化性质及产量的影响[J]. 塔里木大学学报, 2020, 32(4): 24–30.
- [27] 段志平, 刘天煜, 张永强, 等. 离树间距对枣麦间作小麦光合特性及产量的影响[J]. 麦类作物学报, 2017, 37(11): 1445–1452.
- [28] 高路博, 毕华兴, 许华森, 等. 晋西幼龄苹果 × 大豆间作的土壤中水分、养分空间分布特征及对大豆的影响[J]. 中国农学通报, 2013, 29(24): 36–42.
- [29] 田 阳, 周玉喜, 云 雷, 等. 晋西黄土区苹果 – 农作物间作土壤水分研究[J]. 水土保持研究, 2013, 20(2): 29–32, 37.
- [30] 刘小勇, 李红旭, 李建明, 等. 不同覆盖方式对旱地果园水热特征的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(3): 746–754.
- [31] 李玉山. 黄土区土壤水分循环特征及其对陆地水分循环的影响[J]. 生态学报, 1983, 3(2): 91–101.
- [32] 高 峻. 太行山低山丘陵区两种农林复合模式中水肥光分布特征研究[D]. 北京: 北京林业大学, 2009.