

敦煌绿洲区覆膜补灌对谷子光合特性 农艺性状及产量的影响

刘天鹏¹, 何继红¹, 董孔军¹, 任瑞玉¹, 张磊¹, 许岩², 杨天育^{1,2}

(1. 甘肃省农业科学院作物研究所, 甘肃兰州 730070; 2. 甘肃农业大学生命科学技术学院, 甘肃兰州 730070)

摘要: 在年降雨量不足 40 mm 的敦煌绿洲灌区, 以谷子为材料, 采用裂区试验, 研究了覆膜栽培条件下拔节、抽穗和灌浆各阶段灌一次水对其光合特性、农艺性状及产量的影响。结果显示: 在播前统一灌 $600 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 底墒水的情况下, 抽穗期灌 $600 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 水处理 (A3), 谷子的净光合速率 (P_n)、蒸腾速率 (T_r)、气孔导度 (G_s) 及叶绿素含量显著的高于生育期内不灌水 (A1)、拔节期灌 $600 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 水 (A2) 和灌浆期灌 $600 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 水 (A4) 处理, 胞间 CO_2 浓度 (C_i) 因品种不同各处理间也存在较大差异; 抽穗期灌 $600 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 水 (A3) 不仅抽穗明显提前, 株高、主穗长、单株穗重、单株粒重、单株草重显著高于 A1、A2、A4, 且产量也极显著高于 A1、A2、A4; 相关分析表明, 不同处理净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、叶绿素含量均与产量显著正相关, 光合速率、蒸腾速率、气孔导度间彼此极显著相关。

关键词: 谷子; 灌水; 光合特性; 农艺性状; 产量

中图分类号: S343.1 文献标志码: A

Effect of supplemental irrigation on photosynthetic characteristics, agronomic traits and yield of foxtail millet under condition of film mulching in Dunhuang oasis

LIU Tian-peng¹, HE Ji-hong¹, DONG Kong-jun¹, REN Rui-yu¹, ZHANG Lei¹, XU Yan², YANG Tian-yu^{1,2}

(1. Crop Research Institute, Gansu Provincial Academy of Agricultural Sciences, Lanzhou, Gansu 730070, China;

2. College of Life Science and Technology, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu 730070, China)

Abstract: In Dunhuang oasis area where annual rainfall is less than 40 mm, a split plot experiment was conducted to explore the effect of irrigation at jointing, heading and filling stages on the photosynthetic characteristics, agronomic traits and yield of foxtail millet (*Setaria italica* L.) under the condition of film mulching. Results showed that, under the condition of identical irrigation with $600 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ water before planting, the photosynthetic rate (P_n), transpiration rate (T_r), stomatal conductance (G_s) and chlorophyll content of foxtail millet in the treatment of heading stage irrigation with $600 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ water (A3) were significantly higher than those in the treatments of no irrigation (A1), jointing stage irrigation with $600 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ water (A2) and filling stage irrigation with $600 \text{ m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ water (A4). Intercellular CO_2 concentration (C_i) was also much different among different treatments, being affected by different cultivars. Compared with A1, A2 and A4, the treatment of A3 promoted heading time remarkably, increased plant height, main spike length, spike weight per plant, grain weight per plant and straw weight per plant significantly, and raised yield very significantly. Correlation analysis showed that photosynthetic rate, transpiration rate, stomatal conductance and chlorophyll content were significantly positively correlated with yield, while photosynthetic rate, transpiration rate and stomatal conductance were very significantly correlated with each other.

Keywords: foxtail millet; irrigation; photosynthetic characteristics; agronomic traits; yield

敦煌西睡于河西走廊, 地处我国西北干旱区, 被戈壁、沙漠包围的绿洲是其赖以生存的基础^[1-2]。

收稿日期: 2015-11-19

基金项目: 国家科技支撑项目课题 (2013BAD01B05-9, 2014BAD07B01-01); 国家现代农业产业技术体系 (CARS-07-12.5-A5)

作者简介: 刘天鹏 (1987—), 男, 硕士, 研究实习生, 研究方向为作物生态生理。E-mail: 13993184051@163.com。

通信作者: 杨天育 (1968—), 研究员, 主要从事小杂粮遗传育种与栽培研究。E-mail: 13519638111@163.com。

近年来全球气候的变化使敦煌自然绿洲、湿地萎缩^[3],土地荒漠化净增^[4],地下水位下降^[5],严重威胁着敦煌绿洲的安全。自20世纪90年代以来,城镇化扩张^[6]、人口的增长^[7]、旅游业的发展^[8],地下水的大规模开采,促使原本脆弱的敦煌绿洲生态环境进一步恶化,而倚重水资源的农业又是敦煌经济发展的支柱产业^[9],以漫灌为主要灌溉方式,以高耗水量作物棉花^[10]、葡萄^[11]等为主的敦煌农业其用水量高达总水资源利用量的89.34%^[12],加剧了水资源危机,1980—2012年敦煌农业水足迹结构特征的研究显示其水资源利用呈不可持续状态,调整经济作物种植结构,成为缓解敦煌水资源问题的主要措施^[13]。谷子(*Setaria italica* L.)是高光合C4作物,具有抗旱耐瘠,水分利用效率高、营养丰富、粮饲兼用等突出特点,被认为是应对未来水资源短缺的战略贮备作物,建设可持续农业的生态作物以及人们膳食结构调整和平衡营养的特色作物^[14-16]。近年来,河西走廊的武威、张掖等地区已大面积种植谷子,敦煌也开始零星种植,但关于谷子在绿洲区覆膜灌溉栽培方面的研究很少,仅有Zhao等^[17]在敦煌进行了抗旱杂交谷子节水效果的研究,提出播前只灌一次水($1\ 200\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)结合稀植铺膜栽培的技术适用于极度干旱地区,既保证杂交谷子稳产高产,也有利于保护水资源。本试验利用常规育成谷子品种,比较研究了覆膜栽培条件下播前灌一次水($600\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)结合不同生育阶段灌一次水($600\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$)对谷子光合特性和生长发育及产量的影响,旨在为敦煌绿洲区农业经济作物结构调整下谷子的栽培提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

选用东北平原区春谷品种公谷61号、黄土高原区春谷品种大同32号为试验材料,种子由甘肃省农业科学院作物研究所提供。

1.2 试验区概况及田间设计

试验在甘肃省敦煌市甘肃省农业科学院敦煌试验站进行(东经 $94^{\circ}43'$,北纬 $40^{\circ}08'$),该区属于典型的暖温带干旱性气候,平均海拔1 187 m,年均降水量39.9 mm,年均蒸发量2 486 mm,干燥度19.6,年均气温 9.4°C ,年无霜期142 d,年均日照时数3 246.7。谷子生育期内降水量为23.5 mm。

试验采用裂区设计,A因素为灌水时期,设4个水平:生育期内不灌水、拔节期灌水、抽穗期灌水、灌浆期灌水,灌水量均为 $600\ \text{m}^3\cdot\text{hm}^{-2}$;B因素为品种,

设2个水平:公谷61号、大同32号。试验重复3次,小区面积 $15\ \text{m}^2$ (15行区,行距25 cm、行长400 cm),共计24个小区。为保证出苗整齐播前统一灌 $40\ \text{m}^3\cdot 667\ \text{m}^{-2}$ 的底墒水,当土壤含水达 $15\pm 3\%$ 时,施底肥旋耕,施N $165\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 P_2O_5 $195\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 、 K_2O $105\ \text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,然后用幅宽1.4 m厚度0.10 mm的可降解聚乙烯膜平展覆盖地面,膜间不留缝隙;2014年4月9日播种,3叶期间苗,5叶期定苗并除草和培土,留苗45万株 $\cdot\text{hm}^{-2}$,抽穗期搭网防止鸟害。

1.3 测定指标

1.3.1 光合参数测定 灌浆期选晴朗天气于9:30—12:00,用LI-6400便携式光合作用测定仪测定叶片光合速率(P_n)、蒸腾速率(T_r)、气孔导度(G_s)、胞间 CO_2 浓度(C_i),连续测定3天,各小区随机测定5株谷子旗叶光合特征参数值,最终结果以天为单位取其平均值作为每一小区的最终值。

1.3.2 SPAD值测定 叶绿素采用叶绿素计SPAD-502Plus在晴朗天气于10:00—11:00分别测定谷子倒一叶、倒二叶、倒三叶叶绿素含量,每小区随机测定5株,连续测定3 d,最终结果以天为单位取倒一叶、倒二叶、倒三叶叶绿素含量的平均值作为每一小区的最终值。

1.3.3 形态指标及产量测定 记载各生育时期,成熟后各处理每小区随机取10株样,参照《谷子种质资源描述规范和数据标准》^[18],分别对株高、主茎粗、主穗长、单株穗重、单株粒重、单株草重、千粒重7个性状进行室内考种,收获各小区计产。

1.4 数据分析

数据处理及分析采用Excel2010、SPSS17.0软件完成。

2 结果与分析

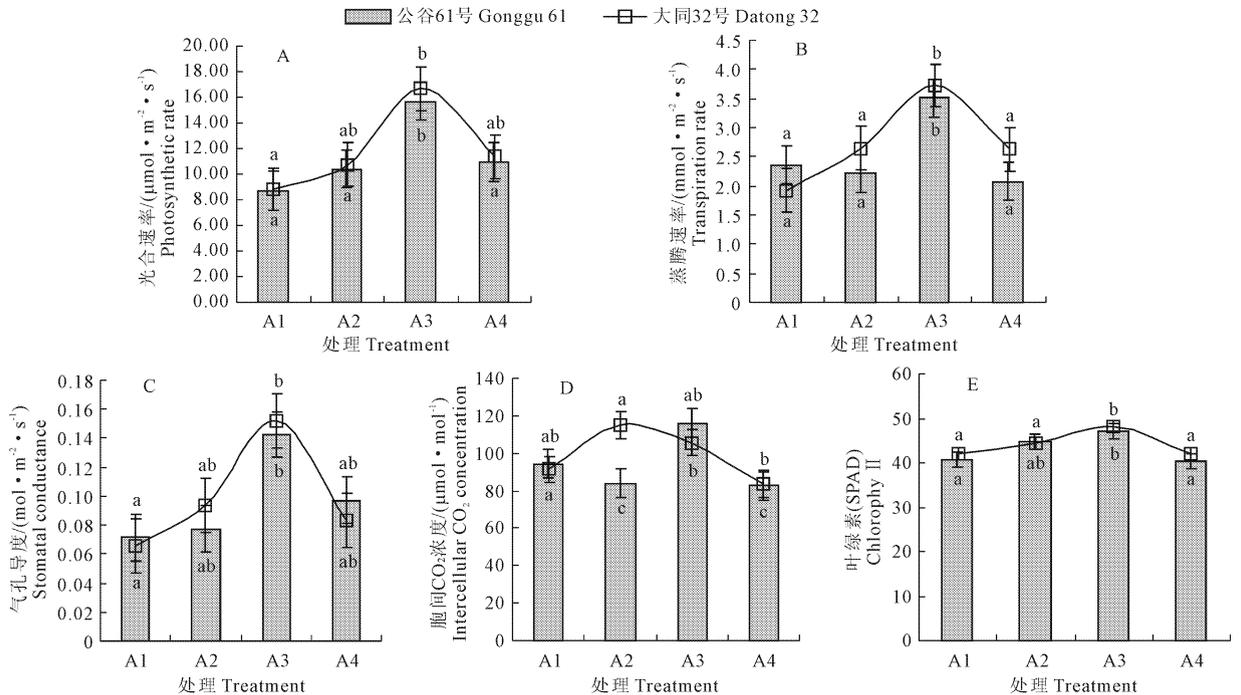
2.1 不同阶段灌水处理对谷子灌浆期光合特性的影响

光合作用的强弱能够反映物质合成的能力。从图1可以看出,光合作用相关的特征参数净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO_2 浓度、叶绿素在两个参试品种上从处理A1至A4均表现为先增大后下降的趋势。图1(A)显示,两品种灌浆期旗叶净光合速率均表现出 $A3 > A4 > A2 > A1$ 的趋势,公谷61号处理A3与A1、A2、A4差异均达到了显著水平,大同32号仅有处理A3与A1差异达到了显著水平;图1(B)显示,两品种蒸腾速率处理A3均与其他处理差异显著,但处理A1、A2、A4间差异不显著,公谷61

号表现为 $A3 > A1 > A2 > A4$, 而大同 31 号表现为 $A3 > A2 > A4 > A1$; 图 1(C) 为不同处理下两品种气孔导度的变化, 由图可知, 两品种气孔导度的变化均表现出相同趋势, 且仅有处理 A3 与 A1 差异达到了显著水平; 图 1(D) 显示不同处理下两品种胞间 CO_2 浓度的差异, 可以看出, 胞间 CO_2 浓度是 5 个光合作用特征参数中两品种间差异较大的一个指标, 公谷 61 号表现为 $A3 > A1 > A2 > A4$, 且 A3 与 A1、A2、A4, A1 与 A2、A4 差异均达到了显著水平, 而大同 32 号表

现为 $A2 > A3 > A1 > A4$, 仅 A2 与 A4 差异达到了显著水平, 说明不同生态型品种在不同时期灌水处理下胞间 CO_2 浓度变化差异较大。

叶绿素含量直接影响作物光合作用。图 1(E) 可以看出, 不同处理下两品种叶绿素含量变化趋势基本一致, 均为 $A3 > A2 > A4 > A1$, 但公谷 61 号处理 A3 与 A1、A2、A4 差异均达到显著水平, 而大同 32 号仅处理 A3 与 A1、A4 差异达到显著水平, 说明不同生态区的品种叶绿素含量变化存在一定差异。



注: 不同小写字表示在 0.05 水平差异显著。下同。

Note: The different lowercase letters indicate the difference significance at 0.05 level. The same below.

图 1 不同时期灌水处理下谷子光合特征的差异

Fig. 1 The difference of photosynthetic characteristics of foxtail millet under different irrigation treatments

2.2 不同阶段灌水处理对谷子生育期的影响

谷子生育期的长短受遗传控制, 但栽培措施不同对谷子生育期影响也较大。图 2(A) 显示, 在播前统一灌一次底墒水的情况下, 不同处理对出苗期几乎没有影响, 但拔节期灌水(图 2(B))明显的延长了春谷品种公谷 61 号和大同 32 号的拔节时期, 且与处理 A1、A3、A4 差异达到了显著水平, 而抽穗期灌水(图 2(C))反而促进春谷抽穗, 显著的缩短了其抽穗时期, 同时拔节期灌水亦利于谷子抽穗, 但效果较抽穗期灌水较差, 其原因是拔节期和抽穗期水分供给充足, 有利于谷子的贪青徒长和穗分化发育, 因此拔节期延长, 抽穗期提前; 而拔节期和抽穗期干旱(不灌水)生长和穗发育受阻, 出现“卡脖旱”现象, 致使谷子难以抽穗, 抽穗期延长, 出现了抽穗期灌水促

进抽穗、缩短抽穗时期的现象。灌浆期灌水(图 2(D))由于前期的水分缺乏严重影响了谷子生长发育, 其作用与全生育期不灌水相接近。

2.3 不同阶段灌水处理对谷子主要农艺性状的影响

谷子主要农艺性状值可以反映其生长发育状况。表 1 方差分析显示, 不同处理下公谷 61 号主茎粗、主穗长及单株草重三个性状差异不显著, 而株高、单株穗重、单株粒重、千粒重存在不同程度差异; 大同 32 号除主穗长、单株草重差异不显著外, 株高、主茎粗、单株穗重、单株粒重、千粒重均存在差异, 说明两品种对不同时期灌水的生长响应有所不同。表 1 也可以看出, 两品种不同处理间的株高、单株穗重、单株粒重、千粒重均表现为 $A3 > A2 > A4 > A1$, 并且 A1、A4 与 A3 存在显著差异, 说明抽穗期灌水

显著的影响谷子的生长发育。

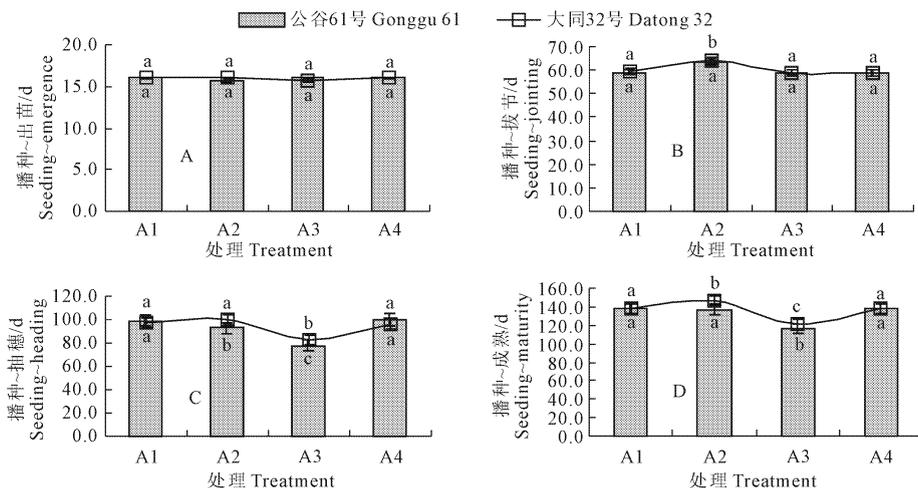


图 2 不同阶段灌水处理谷子生育期的变化

Fig. 2 The change of growth period of foxtail millet under different irrigation treatments

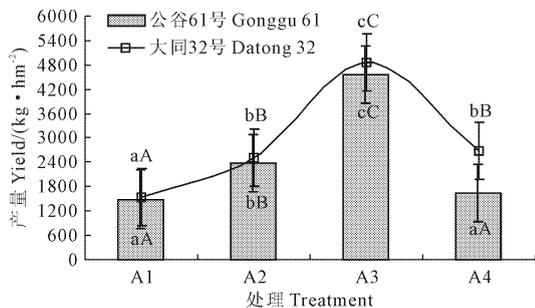
表 1 不同时期灌水对谷子主要农艺性状的影响

Table 1 The differences of main agronomic traits of foxtail millet under different irrigation treatments

品种 Cultivar	处理 Treatment	株高 Plant height /cm	主茎粗 Diameter of main stem/cm	主穗长 Main panicle length/cm	单株穗重 Spike weight per plant/g	单株粒重 Grain weight per plant/g	单株草重 Straw weight per plant/g	千粒重 1000-grain weight/g
公谷 61 号 Gonggu 61	A1	99.00 ± 9.31b	0.42 ± 0.04a	17.33 ± 4.62a	6.83 ± 2.31a	4.16 ± 1.55a	33.43 ± 3.00a	2.73 ± 0.06a
	A2	133.00 ± 14.18a	0.45 ± 0.04 a	18.67 ± 2.52a	9.54 ± 2.45ab	5.24 ± 1.36ab	29.93 ± 6.60a	3.07 ± 0.06ab
	A3	140.67 ± 7.09a	0.43 ± 0.08a	21.67 ± 4.62a	11.45 ± 1.76b	7.09 ± 0.61b	34.23 ± 1.46a	3.13 ± 0.21b
	A4	105.67 ± 5.13b	0.53 ± 0.10a	16.00 ± 4.00a	6.64 ± 2.57a	3.57 ± 1.79a	32.10 ± 5.27a	2.97 ± 0.15a
大同 32 号 Datong 32	A1	99.79 ± 16.57a	0.53 ± 0.01ab	21.67 ± 2.31a	11.38 ± 1.81a	6.95 ± 0.77a	30.00 ± 3.98a	3.40 ± 0.26a
	A2	142.67 ± 14.57b	0.50 ± 0.03a	21.33 ± 6.51a	16.32 ± 1.04b	10.60 ± 1.46b	33.83 ± 3.85a	3.77 ± 0.15ab
	A3	130.83 ± 5.11b	0.48 ± 0.06a	24.50 ± 5.50a	16.14 ± 1.11b	11.47 ± 1.06b	29.83 ± 3.84a	3.90 ± 0.17b
	A4	108.67 ± 13.05a	0.59 ± 0.02b	20.00 ± 6.08a	13.42 ± 0.84a	8.03 ± 1.96a	31.00 ± 1.30a	3.47 ± 0.21a

2.4 不同阶段灌水处理对谷子产量的影响

产量结果通常是衡量栽培技术的核心指标。图 3 可以看出,在处理 A1、A2、A3、A4 下,公谷 61 号的产量依次为 1 491.41、2 384.12、4 554.23、1 648.08 kg·hm⁻²,大同 32 号产量依次为 1 554.74、2 508.13、4 872.24、2 677.48 kg·hm⁻²。方差分析显示,抽穗期灌水(A3)公谷 61 号和大同 32 号的产量极显著的高于拔节期灌(A2)水、灌浆期灌水(A4)及全生育期不灌水(A1),而公谷 61 号拔节期灌水(A2)产量极显著高于灌浆期灌水(A4)、全生育期不灌水(A1),灌浆期灌水(A4)与全生育期不灌水(A1)两处理产量差异不显著;大同 32 号拔节期灌水(A2)产量极显著高于全生育期不灌水(A1),但与灌浆期灌水(A4)差异不显著,说明不同生态区春谷品种在覆膜条件下,虽然抽穗期灌水极显著的提高了产量,但不同生育时期灌水处理产量响应却存在差异。



注:不同小写字母和大小写字母分别表示在 0.05 和 0.01 水平差异显著。

Note: The different lowercase and uppercase letters indicate the difference significance at 0.05 and 0.01 levels, respectively.

图 3 不同处理下谷子产量的差异

Fig. 3 Yield of foxtail millet under different treatments

2.5 不同灌水处理下谷子产量与光合特征参数的相关性

从表 2 可以看出,公谷 61 号和大同 32 号在不

同处理下净光合速率、蒸腾速率、气孔导度及叶绿素含量均与产量相关性显著或极显著,说明与光合作用相关的多数指标均极显著的影响谷子最终产量的形成,而胞间 CO₂ 浓度与产量相关性不显著,原因可能为谷子为 C₄ 作物,不同处理下胞间 CO₂ 浓度含量虽存在差异,但不成为限制其产量形成的主要因子。从光合特征参数间的相关性可以看出两品种的净光合速率与蒸腾速率、气孔导度,蒸腾速率与气孔导度相关性显著,公谷 61 号胞间 CO₂ 浓度与蒸腾速率、

气孔导度相关性显著,大同 32 号胞间 CO₂ 浓度与叶绿素相关性显著,说明两品种净光合速率、蒸腾速率、气孔导度间彼此影响较大,而胞间 CO₂ 浓度因品种生态类型不同,与其它光合参数间作用不同,此外,公谷 61 号叶绿素与净光合速率、蒸腾速率、气孔导度、胞间 CO₂ 浓度虽存在正相关,但均不显著,而大同 32 号仅与叶绿素显著正相关,说明两品种在不同处理下叶绿素含量对其光合作用的影响不同。

表 2 不同处理下谷子产量、光合特征参数间的相关性

Table 2 The correlation among yield and photosynthetic parameters of foxtail millet under different treatments

产量 Yield	指标 Trait	净光合速率 <i>P_n</i>	蒸腾速率 <i>T_r</i>	气孔导度 <i>G_s</i>	胞间 CO ₂ 浓度 <i>C_i</i>	叶绿素 Chl
Y(公谷 61 号) Y(Gonggu 61)		0.76**	0.79**	0.81**	0.09	0.71*
	光合速率 <i>P_n</i>	1				
	蒸腾速率 <i>T_r</i>	0.68*	1			
	气孔导度 <i>G_s</i>	0.81**	0.79**	1		
	胞间 CO ₂ 浓度 <i>C_i</i>	0.41	0.73**	0.70*	1	
	叶绿素 Chl	0.38	0.40	0.38	0.15	1
Y(大同 32 号) Y(Datong 32)		0.77**	0.83**	0.72**	0.29	0.77**
	光合速率 <i>P_n</i>	1				
	蒸腾速率 <i>T_r</i>	0.89**	1			
	气孔导度 <i>G_s</i>	0.92**	0.91**	1		
	胞间 CO ₂ 浓度 <i>C_i</i>	0.20	0.40	0.34	1	
	叶绿素 Chl	0.45	0.69*	0.54	0.65*	1

注 Note: * 表示显著水平 ($P < 0.05$) represents 0.05 significant level; ** 表示极显著水平 ($P < 0.01$) represents 0.01 significant level. *P_n*: Photosynthetic rate, *T_r*: Transpiration rate, *G_s*: Stomatal conductance, *C_i*: Intercellular CO₂ concentration, Chl: Chlorophyll.

3 讨论

3.1 谷子覆膜灌溉栽培的节水效果

谷子在我国已有 8700 多年的栽培历史^[19], 分布于降雨量较少的北方, 长期的进化形成了与干旱少雨的自然环境协同的抗旱特性。山仑等^[20] 比较研究了糜子、谷子、高粱和玉米在种子吸胀、萌发、胚芽伸长和出土以及种苗初期生长各不同成苗阶段的抗旱性及需水条件, 结果表明, 四种作物出土以后, 高粱和谷子幼苗的耐萎蔫能力优于玉米和糜子。古世禄等^[21] 比较发现谷子的水分利用效率比其他主要粮食作物都高, 平均每消耗 1 kg 水分形成干物质 3.89 g, 比大麦高 106.9%, 比小麦高 98.5%, 比玉米高 43.5%, 比高粱高 18.6%。梁宗锁等^[22] 在甘肃民勤干旱沙漠绿洲区采用隔沟交替灌溉方式, 研究了 CRAI 在大田条件下玉米生长、根系分布和对产量的影响及其节水效应, 结果表明灌溉用水量为 1 575 m³·hm⁻², 不引起产量下降; 杨晓亚等^[23] 在常

年降雨量为 500 ~ 700 mm 的黄淮海地区, 以小麦品种济麦 20 为材料, 在田间试验条件下研究了不同灌溉处理对小麦的耗水特性和氮素积累分配的影响, 结果显示, 拔节期、开花期和灌浆期分别灌 30 mm 水, 总灌水约 900 m³·hm⁻² 为高产节水的最佳灌水处理。可以看出主要作物在不同生态环境下的节水栽培技术亦需较高的灌水量。本研究在敦煌极度干旱条件下, 发现在播前土壤含水量为 15% 情况下覆膜种植谷子, 生育期内不灌水, 亦有 1 491.41 ~ 1 554.74 kg·hm⁻² 的产量, 说明谷子是禾谷类作物中具有较好的耐旱、较高水分利用率的作物。

3.2 谷子在调节敦煌绿洲区经济作物种植结构中的前景

敦煌水资源问题已成为限制其发展的重要自然因素^[24], 而以灌溉为主的敦煌绿洲农业又以耗水量较高的葡萄、棉花、瓜类等为主要栽培作物, 加之其年降雨量少、日蒸发量大^[25], 节水栽培技术较落后, 表现出农业水资源利用效率低的特征, 因此调整其

经济作物结构,发展节水农业对敦煌绿洲农业可持续发展有着重要的意义。谷子是我国古老的粮饲兼用作物,有较高的水分利用效率的一种 C4 作物,富含粗蛋白、必需氨基酸、粗脂肪等营养物质,具有抗旱、耐盐碱的特性^[26]。近年来,随着人们饮食结构的调整,谷子备受青睐,市场需求较大,因此可成为敦煌经济作物结构调整的理想作物。谷子覆膜栽培已是干旱半干旱区一项成熟的栽培技术,研究者发现覆膜可有效提高土壤温度,减少蒸发,具有明显的增温保水效应,显著的促进作物生长发育^[27]。Zhao 等^[17]发现在敦煌覆膜栽培结合播前只浇一次水($1\ 200\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)的情况下,抗旱性较强的 13DH2、13DH3、13DH8 和 13DH9 4 个组合的产量高于 $3\ 000\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,本研究发现在播前统一灌一次底墒水($600\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$)的情况下,抽穗期灌 $600\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 的水较生育期内不灌水有效的改善了谷子光合特性、农艺性状,显著的提高了常规谷子的产量,产量高达 $4\ 554.23 \sim 4\ 872.24\ \text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,且较拔节期灌 $600\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 水、灌浆期灌 $600\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 水效果均明显。从市场需求及覆膜节水两方面可以看出,谷子在敦煌经济作物结构调整中有着较好的前景。

4 结 论

谷子是一种耐旱且水分利用率较高的禾谷类作物,在敦煌灌溉绿洲农业生产中,播前灌 $600\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 底墒水的情况下,全膜覆盖结合抽穗期补灌 $600\ \text{m}^3 \cdot \text{hm}^{-2}$ 水的栽培技术种植谷子,既节约灌溉用水,缓解水资源压力,又避免了生育中期干旱造成的减产,保证谷子稳产高产,是敦煌绿洲区极度干旱条件下经济作物结构调整的理想作物。

参 考 文 献:

- [1] 杨根生,曲耀光,董光荣,等.疏勒河下游生态保护研究[J].中国沙漠,2005,25(4):472-482.
- [2] 马利邦,牛叔文,杨丽娜.水资源利用对敦煌市生态环境演变的影响分析[J].自然资源学报,2012,27(9):1531-1542.
- [3] 黎志恒,宁立波,杨俊仓.敦煌地区生态问题的地质学探析[J].湖南生态科学学报,2014,1(2):43-47.
- [4] 李得禄,赵明,杨文斌,等.库姆塔格沙漠周边土地荒漠化成因及其治理对策——以敦煌市为例[J].干旱区资源与环境,2009,23(7):71-76.
- [5] 张喜风,张兰慧,顾娟,等.敦煌绿洲地下水时空变异特征及其对土地利用/覆被变化的响应分析[J].兰州大学学报(自然科学版),2014,50(3):311-317.
- [6] 王新敏,石培基,焦贝贝,等.敦煌城市发展与水资源利用潜力协调度评价[J].水土保持研究,2015,22(3):203-209.
- [7] 周长进,董锁成,李岱,等.敦煌市水资源的可持续利用及调控对策[J].自然资源学报,2007,22(4):516-522.
- [8] 高亚芳,何喜刚.甘肃省国家级历史文化名城的旅游开发[J].西北师范大学学报(自然科学版),2008,44(1):98-101.
- [9] 刘普幸,程英.近60年来敦煌绿洲耕地动态变化与预测研究[J].土壤,2008,40(6):890-893.
- [10] 王秀琴,吴婷芳.敦煌气候条件及对棉花产量因素的影响[J].干旱气象,2014,32(6):1003-1006.
- [11] 白岩,朱高峰,张琨,等.敦煌葡萄液流特征及耗水分析[J].中国沙漠,2015,35(1):175-180.
- [12] 张明泉,赵转军,曾正中.敦煌盆地水环境特征与水资源可持续利用[J].干旱区资源与环境,2003,17(4):71-77.
- [13] 宋智渊,冯起,张福平,等.敦煌1980—2012年农业水足迹及结构变化特征[J].干旱区资源与环境,2015,29(6):133-138.
- [14] Shuo Zhang, Chanjuan Tang, Qiang Zhao, et al. Development of highly polymorphic simple sequence repeat markers using genome-wide microsatellite variant analysis in Foxtail millet [*Setaria italica* (L.) P. Beauv.][J]. BMC Genomics, 2014,15(78):1472-2164.
- [15] 李顺国,刘斐,刘猛,等.我国谷子产业现状、发展趋势及对策建议[J].农业现代化研究,2014,35(5):531-535.
- [16] 阎洪波,黎裕,王天宇,等.中国谷子主产区谷子近缘种狗尾草的遗传多样性[J].西北植物学报,2003,23(6):926-932.
- [17] Zhihai ZHAO, Xiaolei FENG, Gaolei SHI, et al. Drought-resistant hybrid millet under water-saving irrigation in extreme drought area of dunhuang city[J]. Agricultural Science & Technology, 2014,15(2):231-235,247.
- [18] 陆平.谷子种质资源描述规范和数据标准[M].北京:中国农业出版社,2006:42-47.
- [19] Lu H, Zhang J, Liu K B, et al. Earliest domestication of common millet (*Panicum miliaceum*) in East Asia extended to 10000 years ago[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009,106(18):7367-7372.
- [20] 山仓,郭礼坤.春播谷类作物成苗期间的抗旱性及其需水条件[J].作物学报,1984,10(4):257-263.
- [21] 古世禄,马建萍,刘子坚,等.谷子(粟)的水分利用及节水技术研究[J].干旱地区农业研究,2001,19(1):40-47.
- [22] 梁宗锁,康绍忠,石培泽,等.隔沟交替灌溉对玉米根系分布和产量的影响及其节水效益[J].中国农业科学,2000,33(6):26-32.
- [23] 杨晓亚,于振文,许振柱,等.灌水量和灌水时期对小麦耗水特性和氮素积累分配的影响[J].生态学报,2009,29(2):846-853.
- [24] 张明泉,赵转军,曾正中.敦煌盆地水环境特征与水资源可持续利用[J].干旱区资源与环境,2003,17(4):71-77.
- [25] 高振荣,刘晓云,杨庆华,等.河西走廊荒漠—绿洲区气候环境演变特征[J].干旱区研究,2010,27(1):31-38.
- [26] Xiaolei FENG, Zhihai ZHAO, Xiaoming WANG, et al. Recent research progress in foxtail millet (*Setaria italica*)[J]. Agricultural Science & Technology, 2014,15(4):564-570,575.
- [27] 杨天育,何继红,董孔军,等.旱地谷子地膜覆盖栽培技术的研究与实践[J].中国农学通报,2010,26(1):86-90.