

深畦栽培对干旱胁迫下葡萄叶幕 微气候和光合作用的影响

郭金丽, 张 芳, 李志伟, 李小燕, 王金印, 李连国*

(内蒙古农业大学 园艺与植物保护学院, 呼和浩特 010018)

摘 要: 试验以‘京亚’和‘红地球’葡萄品种 2 年生苗木为材料, 在田间遮雨棚内考察了自然干旱胁迫下深畦栽植和平畦栽植葡萄根际土壤湿度、叶幕微气候因子、光合作用参数变化特征, 探讨根际土壤湿度与叶幕气候互作对葡萄光合作用的影响。结果显示: (1) 在干旱逆境下, 葡萄根际土壤湿度和叶幕微气候因子交互作用能通过影响水分条件来影响葡萄的光合作用; 土壤湿度阈值是葡萄进行光合作用时水分利用最有效的土壤湿度点值, 土壤湿度阈值存在“阈值漂移”现象, 与叶幕空气湿度呈明显负相关关系, 维持较高的叶幕空气湿度有利于实现在较低的土壤湿度下达到更高的光合效率。(2) 在干旱逆境下, 与平畦栽植相比, 深畦栽植在改善葡萄根际土壤水分和叶幕微气候方面具有明显的优势, 在该模式下葡萄具有更强的保水能力和更高的水分利用效率, 从而具有更强的光合效率。(3) 采用深畦栽植模式时, 根际土壤相对含水量 30%~50% 是显著影响葡萄光合作用的土壤湿度区间; 根际土壤相对含水量分别在 43.32%~50.00% 和 40.19%~50.00% 是‘京亚’和‘红地球’光合作用适宜的土壤湿度范围, 在 43.32% 和 40.19% 时分别为 2 种葡萄光合作用水分利用效率达到最高的最适土壤湿度。研究发现, 干旱逆境条件下, 葡萄根际土壤湿度和叶幕微气候因子交互作用能改善葡萄的光合作用效率; 深畦栽植葡萄光合作用对土壤湿度的需求较低, 在相对较低的土壤湿度即可达到相对较高的光合能力; 深畦栽植模式可以协调葡萄光合作用和水分消耗之间的关系, 具有较高的水分利用效率和光合能力, 是干旱地区进行葡萄抗旱节水生产的理想模式。

关键词: 葡萄; 干旱逆境; 深畦栽植; 土壤湿度; 叶幕微气候; 光合作用

中图分类号: Q945.79; S663.1

文献标志码: A

Effects of Deep-furrow Planting on Canopy-microclimate and Photosynthesis in Grape under Drought Stress

GUO Jinli, ZHANG Fang, LI Zhiwei, LI Xiaoyan, WANG Jinyin, LI Lianguo*

(College of Horticulture and Plant Protection, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot 010018, China)

Abstract: The study aimed to explore the effect of interaction between rhizosphere soil humidity and canopy-microclimate on photosynthesis in grape under drought stress. The changes of rhizosphere soil humidity, canopy-microclimate factors, photosynthetic parameters of deep-furrow planting and flat-furrow planting were studied under drought stress in field with rain shelter, using two-year-old seedlings ‘Jingya’ and ‘Red globe’ as testing materials. The results showed: (1) under drought stress, the rhizosphere soil humidity and canopy-microclimate interacted, and they effected photosynthesis by affecting water condition in grapes. The soil moisture threshold was the most effective soil moisture point for water utilization in photosynthesis of grape, and showed a “threshold drift” phenomenon. There was a significant negative corre-

收稿日期: 2019-01-11; 修改稿收到日期: 2019-04-23

基金项目: 内蒙古自然科学基金(2014MS0332); 呼和浩特市农业重大科技专项(2015-农-重-7-4)

作者简介: 郭金丽(1972—), 女, 博士, 教授, 硕士生导师, 主要从事果树生态生理及栽培研究。E-mail: guojinli111@163.com

* 通信作者: 李连国, 教授, 硕、博士生导师, 主要从事果树生态生理及栽培研究。E-mail: nmndllg@qq.com

lation between the soil moisture and canopy air humidity. Therefore, higher canopy air humidity was beneficial to achieve higher photosynthetic efficiency under lower rhizosphere soil humidity condition. (2) Under drought stress, compared with flat-furrow planting, deep-furrow planting had obvious advantages to improve rhizosphere soil humidity and canopy-microclimate. Grape had stronger water-retaining capacity and higher water utilization efficiency under deep-furrow planting, thus had stronger photosynthetic efficiency. (3) Under deep-furrow planting, it was suggested; the rhizosphere soil relative water content of 30%—50% was the scope that significantly affected photosynthesis in grapevines; the appropriate soil moisture range for ‘Jingya’ and ‘Red Globe’ were 43.32%—50% and 40.19%—50%, respectively. The rhizosphere soil relative water content of 43.43% and 40.19% were the most effective soil moisture that generated the highest water utilization efficiency during photosynthesis in the leaves of ‘Jingya’ and ‘Red Globe’, respectively.

Key words: grape; drought stress; deep-furrow planting; soil moisture; canopy-microclimate; photosynthesis

中国水资源分布不均,呈现南多北少、东多西少的分布格局,中国西北优质葡萄产区大多处于干旱半干旱地区,干旱胁迫严重制约着中国西北葡萄产业的健康发展^[1-3]。长期以来,西北绝大部分葡萄产区一直引用中原地区的常规平畦栽植模式,该栽植模式在中原地区具有葡萄种植简单、土壤耕作方便的优点,但在西北干旱风大地地区,平畦栽植存在土壤水分蒸发快、植株蒸腾剧烈、消耗水量大、水分利用效率低以及冬季防寒取土困难的突出问题,不利于西北干旱地区葡萄产业的长远发展。

综合考虑西北干旱地区的气候和水资源特点及西北干旱地区葡萄产业势必进行节水高效栽培的需求,内蒙古农业大学葡萄课题组设计了适用于西北干旱优质葡萄产区的抗寒抗旱节水深畦栽植模式,前期试验已对该种植模式的抗寒抗旱、优质丰产的生态生理学机理进行了研究^[4]。根际土壤水分状况和叶幕微气候指叶幕是叶片的分布区域、即整个树冠,叶幕微气候指叶幕紧密表层及内部的气候条件是影响植物光合作用的主要因子,目前有关土壤湿度对植物光合作用影响的研究较多,叶幕微气候与光合作用关系的研究则相对甚少,土壤湿度与叶幕微气候互相作用及对光合作用影响的研究极少。本试验通过深入研究深畦栽植和常规平畦栽植模式下葡萄的土壤湿度和叶幕微气候共同作用对葡萄光合效率的影响,揭示干旱逆境下深畦栽植模式对葡萄水分利用及光合效率的影响,为深畦栽植模式在西北干旱地区节水、优质、高效葡萄产业中的应用提供理论依据。

1 材料和方法

1.1 试验材料

试验在内蒙古大地生态农林科技研究发展中心

试验基地进行,该基地位于内蒙古中西部呼和浩特市赛罕区大黑河北岸风沙地段,年平均气温 6.5℃,≥10℃年活动积温 2 800℃,年降水量 200~400 mm,年平均日照时数 2 877 h,无霜期约 130 d;土壤为沙质土,有机质含量 0.5%,pH 值 7.0。试验选用鲜食葡萄代表性品种‘京亚’(Vitis vinifera L. cv. Jingya)和‘红地球’(Vitis vinifera L. cv. Red globe)作为试材。所选植株均为以‘贝达’(Beta,V. riparia×V. labrusca)为砧木、无病虫害且长势一致的 2 年生葡萄苗木。

1.2 栽植模式及干旱胁迫处理

试验区采用透光性良好的塑料薄膜设置防雨棚,四周保持良好通风。本试验设计 2 种栽植模式(深畦和平畦栽培)和 2 个品种,共组成 4 个处理组合,每处理组合 3 次重复,每次重复 3 株葡萄,共 36 株。深畦栽植模式中,畦深(畦内栽植面距地面)0.5 m,畦底宽 0.8 m,畦口宽 1.2 m;葡萄采用双行单壁篱架栽植,株距 0.5 m,行距 0.6 m,南北行向。以常规平畦栽植模式作为对照,其架式、株行距等与深畦栽培模式一致。试验于 2015 年 7 月 15 日开始持续干旱胁迫处理,即对 2 种栽植模式同时进行 1 次充分灌水后停止供水,停止供水持续 30 d,期间每 5 d 取样进行 1 次相关指标测定,共测 7 次。每次测定时土壤相对含水量均于上午 10:00 进行;叶幕微气候指标和光合作用参数从 6:00~20:00 每隔 2 h 进行 1 次(每天共测 8 次),计算 8 次的平均值作为当天的测定值。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 根际土壤相对含水量 采用土壤水分测量仪(TZS-1K,浙江托普仪器有限公司)测定葡萄根际土壤相对含水量,测定土壤深度为 30 cm,重复 3 次,并用烘干法进行校正。

1.3.2 叶幕微气候指标和叶片光合作用参数 每次选取 2 品种葡萄的新梢,从基部数第 3~5 节位成熟无病虫害的叶片进行活体测定。叶片净光合速率(P_n)、气孔导度(G_s)、蒸腾速率(T_r)、叶幕空气温度(T_a)、叶幕空气相对湿度(Rh)、光合有效辐射(Par)采用 Li-6400 光合仪开放式气路测定^[5],叶幕风速采用 Kestrel 3000 手持式风速仪测定,水分利用效率(WUE)采用公式 $WUE = P_n / T_r$ 计算。重复测定 5 次。首次测完叶片要对选定叶片编号并挂牌标记以便下次测定。

1.4 数据分析与处理

采用 Excel 和 SAS9.0 软件进行数据分析处理。

2 结果与分析

2.1 栽植模式对干旱胁迫下葡萄根际土壤湿度的影响

2 种栽植模式的葡萄根际土壤相对含水量在干旱胁迫期间的变化具有明显的差异(图 1)。随着持续干旱时间的延长(干旱胁迫程度加重),2 种栽植模式葡萄的根际土壤相对含水量均持续下降,深畦栽植模式始终高于同期平畦栽培模式;在胁迫 30 d 后,深畦栽植葡萄根际土壤相对含水量(30.59%)比胁迫前下降了 62.44%,平畦栽植土壤相对含水量(15.61%)比胁迫前下降了 81.33%。可见,在整个干旱胁迫期间,深畦栽植葡萄的根际土壤相对含水

量下降较平畦栽植缓慢,且深畦栽植的土壤相对含水量始终较高。

2.2 栽植模式对干旱胁迫下葡萄叶幕微气候因子的影响

葡萄叶幕微气候因子调查结果(图 2)显示,随着干旱胁迫程度加重,2 种栽植方式的葡萄叶幕空气相对湿度均不断缓慢降低,深畦栽植模式始终高于同期平畦栽植模式;叶幕空气温度随土壤相对含水量的下降而逐渐上升,深畦栽植模式始终低于同期的平畦栽植模式;深畦栽植葡萄的叶幕风速和光合有效辐射均低于平畦栽植,尤其是风速表现更明显。

2.3 栽植模式对干旱胁迫下葡萄光合作用的影响

随着干旱胁迫程度加重,不同栽植模式下 2 种

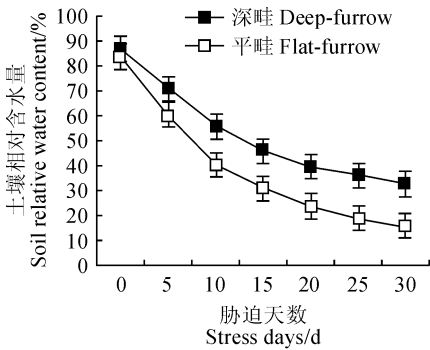


图 1 干旱胁迫下葡萄土壤相对含水量的变化
Fig. 1 The change of soil relative water content in grape under drought stress

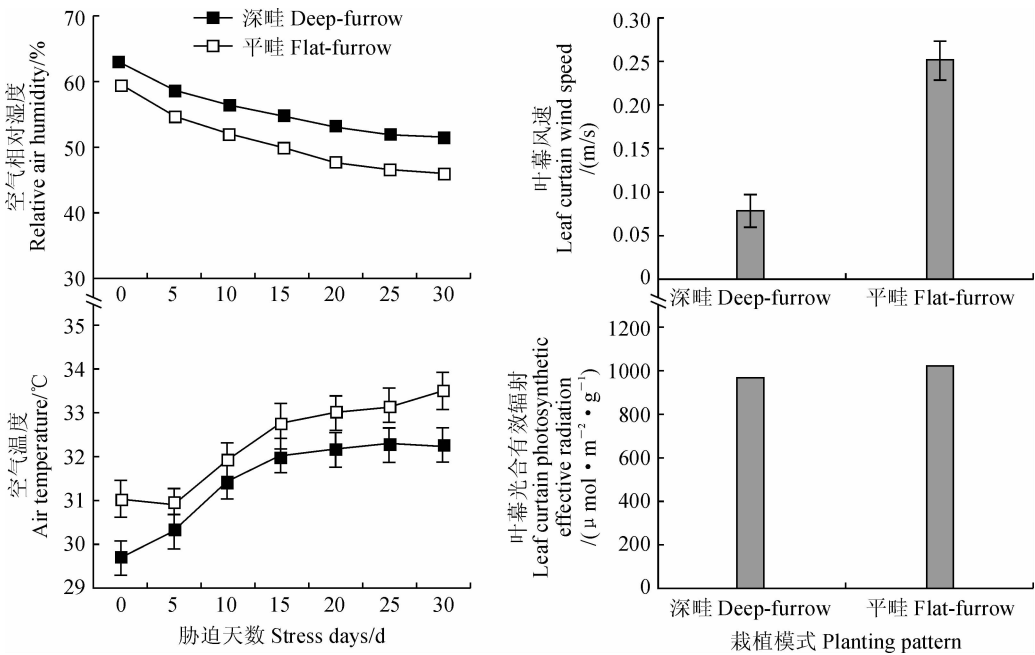


图 2 干旱胁迫下葡萄叶幕微气候因子的变化
Fig. 2 The change of canopy-microclimate factors in grape under drought stress

葡萄叶片的 P_n 、 G_s 、 T_r 均表现为持续下降的相似变化趋势(表 1)。在胁迫 30 d 后结束时,深畦栽植的‘京亚’和‘红地球’叶片 P_n 比胁迫前分别极显著下降了 63.87% 和 56.93%, G_s 分别极显著下降了 59.02% 和 39.62%, T_r 分别极显著下降了 85.12% 和 80.52%;平畦栽植的‘京亚’和‘红地球’ P_n 比胁迫前分别极显著下降了 89.04% 和 89.77%, G_s 分别极显著下降了 75.45% 和 60.48%, T_r 分别极显著下降了 64.52% 和 55.40%。在胁迫期间,深畦栽植下 2 种葡萄叶片的 P_n 、 G_s 、 T_r 均高于同期的平畦栽植,尤其在胁迫中后期(胁迫 15 d 后)显著高于平畦栽植。同时,随着干旱胁迫程度加重,2 种栽植模式下 2 种葡萄叶片 WUE 均持续降低,深畦栽植葡萄叶片 WUE 下降较平畦栽植缓慢;在胁迫 30 d 后,深畦栽植的‘京亚’和‘红地球’叶片 WUE 比胁迫前分别极显著降低了 12.40% 和 28.49%,平畦栽植分别极显著降低了 55.00% 和 73.98%。在胁迫期间,深畦栽植的 2 种葡萄叶片 WUE 也均不同程度地高于同期的平畦栽植,深畦栽植的‘京亚’和‘红地球’ WUE 分别于胁迫 15 d 后和 10 d 后极显著高

于平畦栽植(表 1)。综合上述结果可知,土壤干旱胁迫下深畦栽植的葡萄叶片 P_n 、 G_s 、 T_r 和 WUE 在胁迫期间均高于平畦栽植,尤其在后期严重干旱胁迫时明显高于平畦栽植,说明干旱逆境下深畦栽植比平畦栽植的葡萄叶片具有更高效的水分利用效率和光合能力。

2.4 不同栽植模式下葡萄根际土壤湿度、叶幕微气候因子以及光合作用参数之间的关系

2.4.1 根际土壤湿度与葡萄光合作用参数间的关系 葡萄叶片光合作用与其根际土壤湿度密切相关。根据葡萄根际土壤相对含水量与光合参数的关系建立回归模型,发现不同栽植模式葡萄根际土壤相对含水量与叶片 P_n 、 G_s 、 C_i 、 T_r 的关系均符合 Logistic 方程,其中决定系数的检验均达到极显著水平($P<0.01$)(表 2)。

进一步分析发现,不同根际土壤相对含水量下葡萄叶片 P_n 、 G_s 、 T_r 和 C_i 的变化均分为 3 个阶段:在深畦栽植和平畦栽植土壤相对含水量分别取 0~30% 和 0~40% 区间时,叶片 P_n 、 G_s 、 T_r 和 C_i 变化微小;在土壤相对含水量分别取 30%~50%、40%

表 1 干旱胁迫下不同栽植模式对葡萄叶片光合作用的影响
Table 1 The effects of different cultivation patterns on photosynthesis of grape under drought stress

光合参数 Photosynthetic parameter	品种 Variety	栽植模式 Cultivation pattern	干旱胁迫时间 Drought stress days/d						
			0	5	10	15	20	25	30
净光合速率 P_n	京亚 Jingya	深畦 Deep-furrow	14.08aA	12.33aA	10.24aA	8.17aA	6.87aA	5.82aA	5.09aA
		平畦 Flat-furrow	13.95aA	10.62aA	5.81bB	3.52bB	2.20bB	1.73bB	1.53bB
	红地球 Red globe	深畦 Deep-furrow	14.35aA	13.38aA	11.72aA	8.10aA	7.64aA	6.91aA	6.18aA
		平畦 Flat-furrow	13.93aA	11.40aA	5.31bB	3.41bB	2.09bB	1.73bB	1.43bB
气孔导度 G_s	京亚 Jingya	深畦 Deep-furrow	0.24aA	0.22aA	0.19aA	0.16aA	0.14aA	0.11aA	0.10aA
		平畦 Flat-furrow	0.22aA	0.17bA	0.11bB	0.09bB	0.08bB	0.07bB	0.06bB
	红地球 Red globe	深畦 Deep-furrow	0.21aA	0.19aA	0.17aA	0.17aA	0.15aA	0.13aA	0.13aA
		平畦 Flat-furrow	0.21aA	0.16aA	0.13aA	0.11bB	0.10bB	0.10bB	0.08bB
蒸腾速率 T_r	京亚 Jingya	深畦 Deep-furrow	7.08aA	6.70aA	5.50aA	4.39aA	3.30aA	2.69aA	2.51aA
		平畦 Flat-furrow	6.88aA	4.67bB	2.87bB	1.93bB	1.17bB	1.03bB	1.02bB
	红地球 Red globe	深畦 Deep-furrow	6.79aA	6.55aA	5.50aA	4.41aA	3.84aA	3.25aA	3.03aA
		平畦 Flat-furrow	6.60aA	4.79bB	3.14bB	2.66bB	1.93bB	1.31bB	1.29bB
水分利用效率 WUE	京亚 Jingya	深畦 Deep-furrow	57.83aA	56.67aA	52.77aA	52.54aA	48.09aA	53.56aA	50.66aA
		平畦 Flat-furrow	62.25aA	62.18aA	52.30aA	38.32bB	26.47bB	26.54bB	28.02bB
	红地球 Red globe	深畦 Deep-furrow	67.75aA	69.50aA	68.01aA	48.92aA	49.69aA	52.18Aa	48.45aA
		平畦 Flat-furrow	66.29aA	69.33aA	40.32bB	30.55bB	20.31bB	17.76bB	17.25bB

注:不同小写和大写字母分别代表同期栽培模式间在 0.05 和 0.01 水平存在显著性差异;下同
Note: The different normal and capital letters within same stage indicate significant difference among patterns at 0.05 and 0.01 levels, respectively. The same as below

~60%区间时,4项光合参数的变化幅度极大,且差异达到极显著水平;在土壤相对含水量分别高于50%和60%时,4项光合参数的变化又趋于平缓。以上结果说明,土壤相对含水量范围为30%~50%和40%~60%分别是深畦栽植和平畦栽植显著影响2种葡萄光合作用的土壤湿度区间,也就是光合效率最高的土壤湿度区间。

另外,在这两个土壤湿度区间内均存在着一个转折点(即 Logistic 方程的拐点^[5-8]),它代表了对葡萄光合作用参数产生最大影响的根际土壤湿度点值。在该点土壤水分微小的变化就会对葡萄光合作用产生很大的影响,该点之后随着土壤湿度的增加,光合作用也在增强,但增加速度减小。说明该点是葡萄光合效率最高的土壤湿度。因此,定义回归模型拐点值为根际土壤湿度阈值,作为土壤湿度影响光合作用的临界值。从表3计算4个光合参数 Logistic 方程拐点的平均值可得:深畦栽植和平畦栽植下‘京亚’的根际土壤湿度阈值分别为43.32%、53.54%,‘红地球’的根际土壤湿度阈值分别为40.19%、51.66%。可见,2种葡萄在深畦栽植模式下的根际土壤湿度阈值均低于平畦栽植,深畦栽植

和平畦栽植的根际土壤湿度平均阈值分别为41.76%和52.60%;深畦栽植葡萄光合作用对土壤湿度的需求低于平畦栽植,深畦栽植模式能在土壤湿度较低时即可实现较高的光合效率。

2.4.2 叶幕微气候因子与光合作用参数间的关系

在土壤干旱胁迫下葡萄光合作用参数与叶幕微气候因子的相关分析表明,2种栽植模式下葡萄叶片 P_n 、 G_s 、 T_r 与 Rh 均呈极显著的正相关关系,与 T_a 、 Par 及风速均呈极显著的负相关关系;深畦栽植下各葡萄光合作用参数与 T_a 、 Rh 、 Par 的相关程度较平畦栽植高,平畦栽植下各光合作用参数与叶幕风速的相关程度高于深畦栽植(表3)。由此说明叶幕微气候对光合作用有明显的影响,干旱胁迫下维持较高的叶幕空气湿度有利于实现较高的光合水分效率;深畦栽植下光合作用受叶幕湿度、温度、光照的影响较平畦栽植大,而受风速的影响较平畦栽植小。

2.4.3 根际土壤湿度与叶幕微气候因子间的关系

干旱胁迫下2种栽植模式根际土壤相对含水量与葡萄叶幕空气相对湿度呈正相关关系,与葡萄叶幕风速、叶幕空气温度和光合有效辐射呈负相关关系(表4)。其中,土壤相对含水量与叶幕空气温度、叶

表2 干旱胁迫下不同栽植方式根际土壤湿度与葡萄光合参数的相关分析
Table 2 The correlation between rhizosphere soil moisture and photosynthetic parameters of grape at different cultivation patterns under drought stress

品种 Variety	光合参数 Photosynthetic parameter	栽植方式 Cultivation pattern	拟合方程 Logistic fitting equation	决定系数 Determination coefficient(R ²)	拐点 x Inflection point x/%
京亚 Jingya	P_n	深畦 Deep-furrow	$y=15.384/(1+11.692e^{-0.0555x})$	0.998**	44.29
		平畦 Flat-furrow	$y=15.370/(1+26.744e^{-0.0672x})$	0.999**	48.90
	G_s	深畦 Deep-furrow	$y=0.2954/(1+6.0693e^{-0.0398x})$	0.962**	45.33
		平畦 Flat-furrow	$y=0.3135/(1+7.2694e^{-0.0356x})$	0.992**	55.68
	C_i	深畦 Deep-furrow	$y=416.53/(1+0.5415e^{0.0149x})$	0.981**	41.20
		平畦 Flat-furrow	$y=402.38/(1+0.3621e^{0.0178x})$	0.994**	57.06
	T_r	深畦 Deep-furrow	$y=7.4232/(1+19.5527e^{-0.0704x})$	0.992**	42.47
		平畦 Flat-furrow	$y=8.0311/(1+18.4233e^{-0.0555x})$	0.994**	52.50
红地球 Red globe	P_n	深畦 Deep-furrow	$y=15.491/(1+9.527e^{-0.0566x})$	0.983**	39.85
		平畦 Flat-furrow	$y=15.258/(1+29.845e^{-0.0704x})$	0.995**	48.51
	G_s	深畦 Deep-furrow	$y=0.2908/(1+2.3255e^{-0.0212x})$	0.952**	39.81
		平畦 Flat-furrow	$y=0.3064/(1+3.6536e^{-0.0243x})$	0.993**	53.40
	C_i	深畦 Deep-furrow	$y=411.15/(1+0.3865e^{0.0227x})$	0.909**	41.88
		平畦 Flat-furrow	$y=403.06/(1+0.2015e^{0.0296x})$	0.993**	54.19
	T_r	深畦 Deep-furrow	$y=7.6026/(1+7.1084e^{-0.0502x})$	0.972**	39.23
		平畦 Flat-furrow	$y=8.0000/(1+10.232e^{-0.0460x})$	0.989**	50.55

注: x 为土壤相对含水量, y 为光合参数; ** 表示相关性达到 0.01 显著水平
Note: x refers for the soil relative water content, y refers for photosynthetic parameters; ** represent the significance level at 0.01 level

表 3 干旱胁迫下不同栽植模式葡萄叶幕微气候因子与光合参数的相关分析

叶幕微气候因子 Canopy-microclimate factor	光合参数 Photosynthetic parameter							
	深畦 Deep-furrow				平畦 Flat-furrow			
	P_n	G_s	C_i	T_r	P_n	G_s	C_i	T_r
叶幕空气温度 Air temperature	-0.554**	-0.543**	0.498**	-0.537**	-0.345**	-0.311**	0.263**	-0.340**
叶幕空气相对湿度 Air relative humidity	0.625**	0.623**	-0.486**	0.581**	0.336**	0.305**	-0.231**	0.277**
光合有效辐射 Photosynthetically active radiation	-0.725**	-0.679**	0.614**	-0.680**	-0.542**	-0.487**	0.396**	-0.486**
叶幕风速 Wind speed	-0.329**	-0.311**	0.257**	-0.350**	-0.482**	-0.497**	0.253**	-0.562**

注:**表示相关性达到 0.01 显著水平
Note:** represent the significance level at 0.01 level

表 4 土壤相对含水量与叶幕微气候因子的相关分析

指标 Index	土壤相对含水量 Soil relative water content	叶幕空气相对湿度 Leaf curtain air relative humidity	叶幕空气温度 Blade air temperature	叶幕风速 Blade curtain wind speed	光合有效辐射 Photosynthetically active radiation
土壤相对含水量 Soil relative water content	1.000	0.250**	-0.182**	-0.027	-0.011
叶幕空气相对湿度 Air relative humidity		1.000	-0.928**	-0.442**	-0.863**
叶幕空气温度 Air temperature			1.000	0.420**	0.848**
叶幕风速 Wind speed				1.000	0.463**
光合有效辐射 Photosynthetically active radiation					1.000

注:**表示相关性达到 0.01 显著水平
Note:** represent the significance level at 0.01 level

幕空气相对湿度的相关性极显著,而与叶幕风速、光合有效辐射的相关性不显著,与光合有效辐射的相关程度最小。综合以上分析可知,葡萄根际土壤湿度与叶幕空气相对湿度和叶幕空气温度之间关系最为密切。在本实验干旱胁迫条件下,与平畦栽植相比,深畦栽植葡萄能够保持较高的土壤湿度、叶幕空气相对湿度及较低的叶幕空气温度,从而有效减缓根际土壤水分和叶幕水分的散失,具有更强的保水能力。

2.4.4 根际土壤湿度阈值与叶幕空气湿度的关系

如图 3 所示,2 种栽植模式的根际土壤湿度阈值随着葡萄叶幕空气湿度的变化而变化,这种现象定义为“阈值漂移”。2 种栽植模式的土壤湿度阈值均随着叶幕空气湿度的增加而降低,与叶幕空气湿度表现出明显的负相关关系,即在干旱逆境中叶幕内空气湿度较大时,土壤湿度阈值较低;反之,随着叶幕内空气湿度下降,阈值随之升高。前文已提到,土壤湿度阈值是葡萄进行光合作用时水分利用最有效的土壤湿度点值,上述“阈值漂移”规律意味着土壤湿度对葡萄光合作用所起的作用受叶幕微气候调

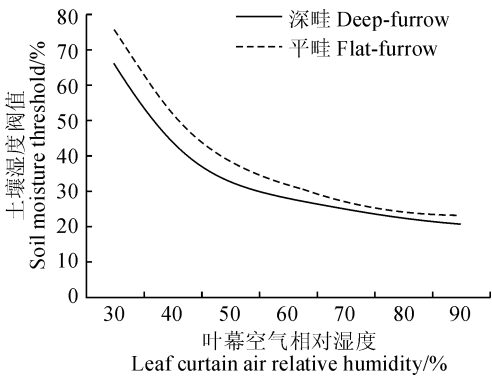


图 3 不同栽植模式土壤湿度“阈值漂移”规律
Fig. 3 The drifting rule of the soil moisture threshold at different cultivation patterns

控,土壤湿度和叶幕微气候交互作用,共同影响葡萄的光合作用。从前文可知,深畦栽植和平畦栽植葡萄根际土壤湿度阈值分别为 41.76%和 52.60%,深畦栽植的土壤湿度阈值低于平畦栽植(表 2);由图 3 中土壤湿度阈值与叶幕空气湿度的关系可知,在不同叶幕空气湿度条件下,深畦栽植的土壤湿度阈值均低于平畦栽植,这与前文的研究结果完全一致。

3 讨 论

3.1 葡萄根际土壤湿度与叶幕微气候的相互作用

土壤水分是农业生产发展的关键因素,直接影响着植物的水分代谢和光合作用^[9-12]。叶幕微气候是指叶幕内部与外部紧密表层的气候条件^[13]。大气候是否适宜决定了葡萄适合栽种的地区,叶幕微气候则对大气候中各条件进行过滤,是影响葡萄光合作用中水分状况和光合效率的直接因素;不同栽植方式(包括栽植密度、整形方式等)因改变了叶片数量、叶片在空间内的分布及叶幕大小和形状,改变了叶幕微生态条件,从而影响葡萄的光合作用^[14-15]。改进栽培方式,合理调节叶幕微气候,创造适于葡萄生长的微环境条件,是充分利用生态潜力,进行丰产、优质、高效葡萄生产的理想途径。

一般来说,同等条件下土壤相对含水量越高,则土壤水分蒸发量就越大,近地面空气里的水蒸气含量也越高,空气相对湿度值越大;同样,如近地面空气相对湿度越大,则越有利于防止土壤水分蒸发,从而保持较高的土壤相对含水量。本试验结果显示,干旱胁迫下 2 种栽植模式葡萄根际土壤相对含水量均与叶幕空气相对湿度呈正相关关系,与叶幕风速、叶幕空气温度和光合有效辐射呈负相关关系,尤其与叶幕空气相对湿度和叶幕空气温度的相关均达到显著水平。说明葡萄根际土壤湿度与叶幕微气候之间相互作用和影响,尤其与叶幕空气湿度和叶幕空气温度密切相关。

3.2 根际土壤湿度与叶幕微气候相互作用对葡萄光合的影响

从本试验结果可知,干旱胁迫下 2 种栽植模式葡萄叶片的 P_n 、 G_s 、 T_r 均与根际土壤相对含水量呈显著正相关关系,说明根际土壤湿度与葡萄叶片光合能力密切相关;同时,2 种栽植模式下葡萄叶片的 P_n 、 G_s 、 T_r 与 Rh 均呈极显著的正相关关系,与 T_a 、 Par 及风速均呈极显著的负相关关系,说明叶幕微气候对光合能力有明显的影响。因此,在干旱逆境下维持较高的根际土壤湿度和叶幕空气湿度有利于葡萄实现较高的光合效率。

在已明确干旱逆境中根际土壤湿度与光合作用关系的基础上,本试验进一步探讨了显著影响葡萄光合作用的土壤湿度区间和土壤湿度阈值,从而得到深畦栽植下显著影响葡萄光合作用的土壤相对含水量区间为 30%~50%,而平畦栽植为 40%~60%;并进一步得出深畦栽植和平畦栽植的根际土

壤湿度阈值分别为 41.76%和 52.60%。在生态学上,土壤湿度阈值是葡萄进行光合作用时水分利用最有效的土壤湿度点值;但土壤湿度阈值并不是一个固定的点值。由本研究中土壤湿度阈值与叶幕微气候关系的可知,2 种栽植模式的土壤湿度阈值存在“阈值漂移”现象,土壤湿度阈值与叶幕空气湿度表现出明显的负相关关系,即在干旱逆境中土壤湿度阈值在叶幕湿度大时较低,在叶幕内湿度小时较高。这意味着在葡萄实践生产中,当处于干旱逆境条件下时,如果能维持较高的叶幕空气湿度,则会降低葡萄进行光合作用对土壤水分的要求,从而实现在较低的土壤湿度条件下达到更高的光合能力。由此说明,在葡萄进行光合作用时,土壤湿度并不是影响光合作用的唯一水分因子,而是土壤湿度和叶幕微气候相互作用,通过影响葡萄光合作用对水分的利用效率来影响光合作用效率。

3.3 干旱逆境下不同栽植模式葡萄的光合作用

植物叶片光合作用过程中对水分利用的效率,是干旱地区农业生产中选择植物种类或栽培模式的一项重要指标^[16-19]。本研究中深畦栽植模式显著影响葡萄光合作用的土壤相对含水量区间为 30%~50%,而平畦栽植为 40%~60%,且深畦栽植和平畦栽植的根际土壤湿度阈值分别为 41.76%和 52.60%。干旱逆境中,与平畦栽植相比,深畦栽植葡萄光合作用对土壤湿度的需求较低,深畦栽植下相对较低的土壤湿度即可达到相对较高的光合能力;深畦栽植模式可以协调葡萄光合作用和水分消耗之间的关系,具有较高的水分利用效率和光合能力,是干旱地区进行葡萄抗旱节水生产的理想模式。

土壤湿度阈值是葡萄进行光合作用时水分利用最有效的土壤湿度点值。土壤湿度保持在阈值及其以上时,能保证葡萄进行高效的光合作用;土壤湿度低于阈值时,土壤湿度将成为葡萄进行光合作用的限制因素。针对干旱地区进行葡萄生产实际,如果以低于阈值的土壤湿度来追求节水,将会导致光合速率下降;而以高于阈值的土壤湿度去求得高效的光合作用,将以水分浪费为代价。因此,干旱地区采用深畦栽植模式进行葡萄生产时,根际土壤相对含水量为 30%~50%是显著影响葡萄光合作用水分利用效率的土壤湿度区间;根际土壤相对含水量分别在 43.32%~50.00%和 40.19%~50.00%是‘京亚’和‘红地球’适宜的土壤湿度范围;根际土壤相对含水量 43.32%和 40.19%分别为两种葡萄进行光合作用时水分利用效率最高的最适土壤湿度。

参考文献:

[1] 许迪,吴普特,梅旭荣,等.我国节水农业科技创新成效与进展[J].农业工程学报,2003,**19**(3): 5-9.
XU D,WU P T, MEI X R. Innovation and progress of agricultural water-saving science and technology in China. [J]. *Transactions of the CSAE*, 2003,**19**(3): 5-9.

[2] 李昭楠,李唯,姜有虎,等.西北干旱区戈壁葡萄膜下滴灌需水量和灌溉制度[J].水土保持学报,2011,**25**(5): 247-251.
LI S N, LI W, JIANG Y H, *et al.* Water demand and irrigation schedule of drip irrigation for gobi grape under plastic mulch in northwest arid region of China[J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2011,**25**(5): 247-251.

[3] 李昭楠,李唯,刘继亮,等.不同滴灌水量对干旱荒漠区酿酒葡萄光合及产量的影响[J].中国生态农业学报,2011,**19**(6): 1 324-1 329.
LI S N, LI W, LIU J L, *et al.* Effect of drip irrigation pattern on wine grape growth, yield, photosynthesis and water use efficiency in arid desert regions[J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2011,**19**(6): 1 324-1 329.

[4] 李爽.西北沙地深沟栽植葡萄抗旱抗寒机理的研究[D].呼和浩特:内蒙古农业大学,2013.

[5] SEBASTIAN ANI T A, VIOREL ARNĂUTU, RĂZVAN ȘTEFĂNESCU. Numerical optimal harvesting for a periodic age-structured population dynamics with logistic term[J]. *Numerical Functional Analysis and Optimization*, 2009,30:3-4, 183-198.

[6] YUKO ARAKI, SADANORI KONISHI, SHUICHI KAWANO, *et al.* Functional logistic discrimination via regularized basis expansions[J]. *Communications in Statistics-Theory and Methods*, 2009,38,16-17,2 944-2 957.

[7] 徐文科,孙广山,李凤日.Logistic 方程统计建模及对红松单木生长的拟合[J].东北林业大学学报,2011,**39**(6): 114-115.
XU W K,SUN G S,LI F R. Statistical modeling of logistic equation and fitting of individual tree growth of *Pinus koraiensis* [J]. *Journal of Northeast for Forestry University*, 2011, **39** (6): 114-115.

[8] 姜宁,付强,孙颖娜.基于 Logistic 模型的黑龙江省西部半干旱区有效灌溉面积分析[J].水土保持研究,2010,**17**(2): 174-177.
JIANG N, FU Q, SUN Y N. Analysis on effective irrigated land area in western Heilongjiang Province based on logistic mode[J]. *Research of Soil and Water Conservation*, 2010, **17** (2): 174-177.

[9] MA Q L, CHENG F, LIU Y J, *et al.* Spatial heterogeneity of soil water content in the reversion process of desertification in arid areas[J]. *Journal of Arid Land*, 2011, **3**(4): 268-277.

[10] 郭春芳,孙云,张木清.土壤水分胁迫对茶树光合作用——光响应特性的影响[J].中国农业生态学报,2008,**16**(6): 1 413-1 418.
GUO C F,SUN Y, ZHANG M Q. Effect of soil water stress on photosynthetic light response curve of tea plant (*Camellia sinensis*) [J]. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2008, **16** (6): 1 413-1 418.

[11] SANTESTEBAN L G, MIRANDA C, ROYO J B. Effect of water deficit and rewating on leaf gas exchange and transpiration decline of excised leaves of four grapevine (*Vitis vinifera* L.) cultivars[J]. *Sci Horti*, 2009, (121): 434-439.

[12] 刘吉利,赵长星,吴娜,等.苗期干旱及复水对花生光合特性及水分利用效率的影响[J].中国农业科学,2011,**44**(3): 469-476.
LIU J L, ZHAO C X, WU N, *et al.* Effects of drought and rewating at seedling stage on photosynthetic characteristics and water use efficiency of peanut[J]. *Scientia Agricultural Sinica*, 2011, **44**(3): 469-476.

[13] 牛自勉,孙俊宝,张文和,等.叶幕微区光环境对果树生长发育的影响[J].中国农学通报,2005,**21**(12): 287-289.
NIU Z M, SUN J B, ZHANG W H, *et al.* Influence of light microclimate of canopy to the growth and development to fruit plants[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, **21**(12): 287-289.

[14] 张大鹏,姜红英,陈星黎,等.叶幕微气候与葡萄生理、果实产量和品质形成之间基本关系的研究[J].园艺学报,1995,**22**(2): 110-116.
ZHANG D P, JIANG H Y, CHEN X L, *et al.* Studies on the essential relationship between canopy microclimate, vine growth, grape yield and berry quality[J]. *Acta Horticultural Sinica*, 1995, **22**(2): 110-116.

[15] 贾杨,廖康,刘曼曼,等.吐鲁番不同栽培架式葡萄叶幕微气候差异分析[J].北方园艺,2014,**14**(9): 23-26.
JIA Y, LIAO K, LIU M M, *et al.* Analysis on the canopy microclimate of the different grape cultivation trellis in Turpan[J]. *Northern Horticulture*, 2014, **14**(9): 23-26.

[16] AVOLA G, CAVALLARO G, PATAN C, *et al.* Gas exchange and photosynthetic water use efficiency in response to light, CO₂ concentration and temperature in *Vicia faba* [J]. *Plant Physio*, 2008, (165): 796-804.

[17] 彭羽,薛达元,王艳杰,等.利用光合水分利用率进行引进葡萄品种选择[J].华北农学报,2011,**26**(增刊): 80-84.
PENG Y, XUE D Y, WANG Y J, *et al.* Using photosynthetic water use efficiency as an indicator for selection of introduced grape (*Vitis vinifera*) varieties[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2011, **26**(Supplement): 80-84.

[18] 王宁宁,胡增辉,沈应柏.珙桐苗木叶片光合特性对土壤干旱胁迫的响应[J].西北植物学报,2011,**31**(1): 101-108.
WANG N N, HU Z H, SHEN Y B. Photosynthetic characteristics of *Davidia involucrate* Baill. seedlings under soil drought stress[J]. *Acta Bot. Boreal. -Occident. Sin.* 2011, **31**(1): 101-108.

[19] TANAKA-ODA A, KENZO T, KORETSUNE S, *et al.* Ontogenetic changes in water-use efficiency ($\delta^{13}C$) and leaf traits differ among tree species growing in a semiarid region of the Loess Plateau, China [J]. *Forest Ecol Manag*, 2010, (259): 953-957.

(编辑:裴阿卫)