

紫花苜蓿和菊苣比叶面积和光合特性 对不同用量保水剂的响应

韦兰英^{1,*}, 袁维圆^{1,2}, 焦继飞^{1,2}, 张建亮^{1,2}, 尤业明^{1,2}, 莫 凌¹, 黄玉清¹, 李先琨¹

(1. 中国科学院 广西植物研究所, 桂林 541006; 2. 广西师范大学, 桂林 541004)

摘要:为研究紫花苜蓿(*Medicago sativa*)和菊苣(*Cichorium intybus*)叶片生长和光合生理对不同用量保水剂的适应能力和生理响应机制,以不施保水剂作为对照(CK),测定了施用不同用量保水剂(15 kg·hm⁻², 30 kg·hm⁻²)条件下大田种植的紫花苜蓿(*Medicago sativa*)和菊苣(*Cichorium intybus*)的比叶面积和光合特性。结果表明,保水剂对紫花苜蓿的比叶面积无显著影响($P > 0.05$),但对菊苣的比叶面积具有显著影响($P < 0.05$)。对紫花苜蓿而言,保水剂施用量为 15 kg·hm⁻²时,其 P_n 、 g_s 和 WUE 均显著高于对照($P < 0.01$),但施用量为 30 kg·hm⁻²处理时,其 P_n 和 g_s 均显著低于对照处理($P < 0.01$),但是却维持较高的 WUE ;对菊苣而言,施用保水剂降低了其 P_n 和 T_r ($P < 0.01$),但 WUE 与对照无显著差异($P > 0.05$),这表明紫花苜蓿和菊苣采取两种不同的生理适应策略来适应变化了的水分环境条件。紫花苜蓿 P_n 与 g_s 、 P_n 与 T_r 的相关性均以保水剂施用量为 30 kg·hm⁻²处理最紧密($P < 0.01$),而 P_n 与 WUE 的相关性则以对照最为紧密,依次为 15 kg·hm⁻²处理和 30 kg·hm⁻²处理;菊苣 P_n 与 g_s 、 T_r 和 WUE 的相关性强弱均表现为 15 kg·hm⁻²处理 < 30 kg·hm⁻²处理 < 对照,表明保水剂影响叶片气体交换参数之间的关系。研究表明,不同植物叶片参数和光合特性对保水剂的响应并不具有一致性,植物可以根据环境条件的变化调节其形态和生理过程,以维持其正常生长。

关键词:比叶面积;光合特征;保水剂;紫花苜蓿;菊苣

文章编号:1000-0933(2009)12-6772-07 中图分类号:S945 文献标识码:A

The response of SLA and photosynthesis of *Medicago sativa* and *Cichorium intybus* to different rates of super absorbent polymer

WEI Lan-Ying^{1,*}, YUAN Wei-Yuan^{1,2}, JIAO Ji-Fei^{1,2}, ZHANG Jian-Liang^{1,2}, YOU Ye-Ming^{1,2}, MO Ling¹, HUANG Yu-Qing¹, LI Xian-Kun¹

1 Guangxi Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Guilin 541006, China

2 Guangxi Normal University, Guilin 541004, China

Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(12): 6772 ~ 6778.

Abstract: This study was conducted to investigate the response of specific leaf area (SLA) and photosynthesis of *Medicago sativa* and *Cichorium intybus* grown under field environmental conditions to the super absorbent polymer (SAP). The SAP was added to the soil at the following rates: 0 (CK), 15 kg·hm⁻² and 30 kg·hm⁻². The results showed that the SAP had no significant effect on the SLA of *Medicago sativa* ($P > 0.05$), while it had significant effect on that of *Cichorium intybus* ($P < 0.05$). Applied with 15 kg·hm⁻² of SAP, *Medicago sativa* had higher P_n , g_s and WUE than the CK significantly ($P < 0.01$), but when applied with 30 kg·hm⁻² of SAP, its P_n and g_s were significantly lower than that of the CK ($P < 0.01$), maintaining with high WUE ; for *Cichorium intybus*, the P_n and T_r were lower after applied with SAP, but there is no significant difference between its WUE and that of the CK ($P > 0.05$), indicating that these two species responded to the changed water environmental conditions by taking two different physiological reactions respectively. The correlations between

基金项目:广西重大科技成果引进与产业化示范资助项目(桂科合 0630004-7A-22);国家科技支撑计划资助项目(2006BAC01A10);中国科学院西部行动计划项目(KZCX2-XB2-08)

收稿日期:2008-08-29; 修订日期:2009-05-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: weilanyingccn@163.com

P_n and g_s , P_n and T_r of *Medicago sativa* applied with $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ of SAP were the most closely connected ($P < 0.01$), while the correlation between P_n and WUE of the CK were the most closely connected, next were the treatments with $15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ and $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ of SAP respectively; for *Cichorium intybus*, the connections of correlations between P_n and g_s , T_r and WUE all showed in the following order: treatment with $15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ of SAP < treatment with $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ of SAP < CK, reflecting that SAP would affect the relations among gas exchange parameters of leaves. It could be concluded that, the leaf parameters and photosynthesis of different species responded to SAP were inconsistent, plants would adjust the morphological and physiological process according to the changing environment, so as to keep their normal growth.

Key Words: specific leaf area; photosynthetic characters; polyacrylamide; *Medicago sativa* and *Cichorium intybus*

岩溶石漠化区不仅生态环境十分脆弱,而且社会经济条件也十分落后,如何恢复生态环境,提高人们的生活水平成为当前亟待解决的重要问题。大量的研究证实,林草植被在石漠化防治、植被恢复、生态环境综合整治等方面发挥着越来越重要的作用^[1~3],而从生态和经济效益两方面考虑,种植牧草也是最好的结合点^[4]。紫花苜蓿(*Medicago sativa*)和菊苣(*Cichorium intybus*)为优良的牧草植物,在生态恢复中具有重要作用,虽然该区域降雨丰富,但是两种牧草植物在生长过程中却存在季节性的干旱问题,因此对降水和灌溉水的保持与高效利用,达到节水增效和改善生态环境的目的就成为当前亟待解决的重要问题。

保水剂(super absorbent polymer, SAP)是一种通过改善植物根土界面环境、供给植物水分的化学节水技术,不仅能有效地改善土壤理化性质,而且还可以明显提高植物的光合速率和水分利用效率、增强其抗旱性^[5~13],但大量的研究也表明,保水剂功能的有效发挥受土壤和植物的双重制约^[14~18],另外,其功能的有效发挥还受环境因子如温度、光照等因素的影响,因此目前人们对保水剂的应用方法、作用机制及其对土壤和植物的影响均进行了大量的研究^[19~24],但由于保水剂所吸收和保持的水分能否为植物所真正利用主要取决于保水剂对水分的吸附力以及植物的水分吸收生理特性,因此保水剂应用对植物的生理生态影响本质是植物-水分关系问题。比叶面积是反映植物获取资源的器官,很大程度上可以解释植物光合作用的种间变异,而两者结合起来可以反映植物对生境的适应状况,也可以反映植物-水分关系方面的差异。由于不同土壤、气候和植物对保水剂的应用量、应用方法的效果差异很大,因此同一保水剂应用于不同的植物和土壤可能产生不同甚至相反的效果^[25~27],进一步开展保水剂应用方法和作用机制的研究,探明适合不同气候区域、土壤和植物的保水剂的最佳施用量、施用方式、研究不同保水剂对植物和土壤环境的作用机理对于指导区域生产实践具有积极的现实意义。

本文以牧草植物紫花苜蓿和菊苣为对象,研究了不同保水剂用量对其光合生理的效应关系,这对于揭示施用不同保水剂用量对植物生理生态过程的影响、阐明植物高效利用土壤水分资源的生理生态机制、探讨化学节水的效应机理均具有重要意义,可为促进保水剂的推广应用提供理论支撑,对指导区域植树造林、作物抗旱栽培具有应用参考。

1 研究区自然条件和研究方法

1.1 研究区自然概况

研究地点设置在广西植物研究所试验地内,该区地理位置为 $110^{\circ}12' \text{ E}$ 和 $25^{\circ}11' \text{ N}$,海拔 170m,年均温度 19.2°C ,最热月(7 月份)平均温度 28.3°C ,最冷月(1 月份)平均温度 8.4°C ,极端最高温 38°C ,极端最低温 -6°C 。年降雨量 1655.6mm,降雨集中在 4、5、6 月份,冬季雨量较少,干湿交替明显,年平均相对湿度 78%。土壤为酸性粘壤土,土壤 pH 值为 4.85,容重为 $1.13 \text{ g} \cdot \text{cm}^{-3}$,田间持水量为 32.78%,土壤有机质 $42.6 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、土壤全氮为 $1.82 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、水解氮为 $111.1 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,全磷为 $2.25 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 、全钾为 $11.04 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。

1.2 田间试验设计

试验所用的菊苣(*Cichorium intybus*)购自广西草业中心,紫花苜蓿(*Medicago sativa*)购自北京中种草业有

限公司,保水剂购置北京金元易公司代销的法国 SNF 产品,其英文名为 Super Absorbent Polymers,简称 (SAP),产品型号为 MP3005KM,吸水倍率为自身的 300 倍,由高纯度聚丙烯酸盐(钾盐)和聚丙烯酰胺通过多反应官能团的交联剂进行网状化反应精确制成,是一种人工合成的具有超强吸水保水和释放能力的高分子聚合物。保水剂用量以不施用(CK)作为对照、设置施用量为 $15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 两个水平作为对比。在施用,先将其完全浸入水中,使其充分吸收水分直至最大倍率,然后施于土层深度为 10cm 处,再盖上土壤,将表面整理平整。紫花苜蓿和菊苣播种量分别为 $20 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $8 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。种植时人工整地、开沟、条播,播深 2cm,采用随机区组设计来布置,小区面积为 $2\text{m} \times 3\text{m}$,每一处理 3 次重复。2007 年 10 月 24 日种植,整个生育期不施肥、完全自然状态生长,仅进行田间人工除草。

1.3 叶片气体交换参数的测定

测定于 2008 年 4 月(晴天)进行,此时紫花苜蓿和菊苣正处于第 1 茬旺盛生长期。在每一小区选择向阳的完全伸展、无病虫害且保持完整的 2~3 个成熟叶片,用 Li-6400 便携式光合测定系统(Li-cor, USA),从 9:00~11:30 测定叶片光合速率(P_n)、气孔导度(g_s)和蒸腾速率(T_r)等生理指标,仪器稳定后记录数据。根据 Penuelas 等^[28]计算水分利用效率(WUE) = P_n / T_r 。

1.4 叶面积、比叶面积和叶绿素含量的测定

选择生长良好、大小一致、没有遮荫 5 棵植株,每一植株采集 2 片完全伸展、无病虫害且完全成熟的叶片用于叶片面积和干重的测定。采集的叶片先用叶面积仪(LI-3000)测定其叶面积,然后将其置于烘箱中,70℃ 下烘干至恒重,根据 Denis 等^[29]计算比叶面积(SLA , $\text{cm}^2 \cdot \text{kg}^{-1}$) = 叶面积/叶干重。

使用 SPAD-502 叶绿素含量仪(Minolta, Japan)测定其相对叶绿素含量。测量时手持 SPAD-502 叶绿素测量仪夹住叶片,沿着叶脉方向移动测定,每株植物测定 2 个叶片,每个叶片重复 5~6 次,共测定 10 株。

1.5 数据分析

采用 SPSS 统计分析软件包(SPSS 11.0 for Windows, Chicago, USA)对数据进行相关分析、One-Way ANOVA 方差分析,并用 LSD 法进行多重比较。

2 结果分析

2.1 叶面积、叶绿素含量和比叶面积对不同施用量保水剂的响应

保水剂对紫花苜蓿和菊苣的叶面积均无显著影响($P > 0.05$),对菊苣的叶绿素含量、紫花苜蓿的比叶面积也无显著影响($P > 0.05$),但对菊苣的比叶面积、紫花苜蓿的叶绿素含量均具有显著影响($P < 0.05$)。保水剂施用量为 $15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和施用量为 $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理的紫花苜蓿的叶绿素含量显著高于对照,比对照分别提高了 17% 和 13%。施用量 $15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 的菊苣花比叶面积与对照无明显差异,但施用量为 $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理其比叶面积比对照降低了 21%,表明紫花苜蓿和菊苣叶面积、叶绿素含量和比叶面积对不同用量保水剂的响应规律存在差异,保水剂对不同植物叶片参数的影响并不具有一致性(表 1)。

表 1 紫花苜蓿和菊苣叶片参数对不同用量保水剂的响应

Table 1 The response of the leaf traits of *Medicago sativa* and *Cichorium intybus* to the Super absorbent polymer (SAP)

保水剂用量 SAP ($\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$)	叶面积 Leaf area (cm^2)		叶绿素含量 Leaf chlorophyll		比叶面积 Specific leaf area ($\text{cm}^2 \cdot \text{g}^{-1}$)	
	紫花苜蓿	菊苣	紫花苜蓿	菊苣	紫花苜蓿	菊苣
CK	$2.7 \pm 0.4\text{a}$	$238.0 \pm 40.7\text{a}$	$42.9 \pm 1.7\text{c}$	$36.8 \pm 3.2\text{a}$	$410.2 \pm 45.1\text{a}$	$391.4 \pm 22.4\text{a}$
15	$3.2 \pm 0.6\text{a}$	$212.6 \pm 51.5\text{a}$	$50.3 \pm 4.4\text{a}$	$35.5 \pm 5.4\text{a}$	$391.2 \pm 53.4\text{a}$	$387.8 \pm 24.1\text{a}$
30	$3.0 \pm 0.5\text{a}$	$222.9 \pm 31.5\text{a}$	$48.5 \pm 1.3\text{b}$	$36.5 \pm 5.4\text{a}$	$391.3 \pm 25.9\text{a}$	$311.1 \pm 66.7\text{b}$

紫花苜蓿 *Medicago sativa*; 菊苣 *Cichorium intybus* 相同字母代表无差异,不同字母代表有差异 Values in the same column followed by the same letter are not significantly different according to LSD's test

2.2 叶片气体交换参数对不同施用量保水剂的响应

不同施用量保水剂对紫花苜蓿和菊苣叶片气体交换参数并不具有一致性的影响(图 1)。对紫花苜蓿而

言,保水剂施用量为 $15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,其 P_n 、 g_s 和 WUE 均显著高于对照 ($P < 0.01$),分别比对照提高了 14%、15% 和 18%,但 T_r 与对照相比无显著差异。施用量为 $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理时,其 P_n 、 g_s 和 T_r 均显著低于对照处理 ($P < 0.01$),分别比对照降低了 19%、25% 和 19%,且不同处理间均具有显著差异(图 1a)。表明施用量为 $15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,保水剂能显著提高紫花苜蓿的 P_n 、 g_s 和 WUE ,而当保水剂施用量为 $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,保水剂却显著降低了紫花苜蓿的 P_n 和 g_s ,但并不影响其 WUE 。保水剂对菊苣叶片气体交换参数的影响与对紫花苜蓿的相比存在差异(图 1b)。不同施用量保水剂对菊苣 P_n 和 T_r 均具有显著影响,但是施用量为 $15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理其 P_n 和 T_r 均显著低于对照处理 ($P < 0.01$),而其 g_s 和 WUE 与对照无显著差异 ($P > 0.05$)。这表明,施用保水剂降低了菊苣的 P_n 和 T_r ,但不影响其 g_s 和 WUE 。

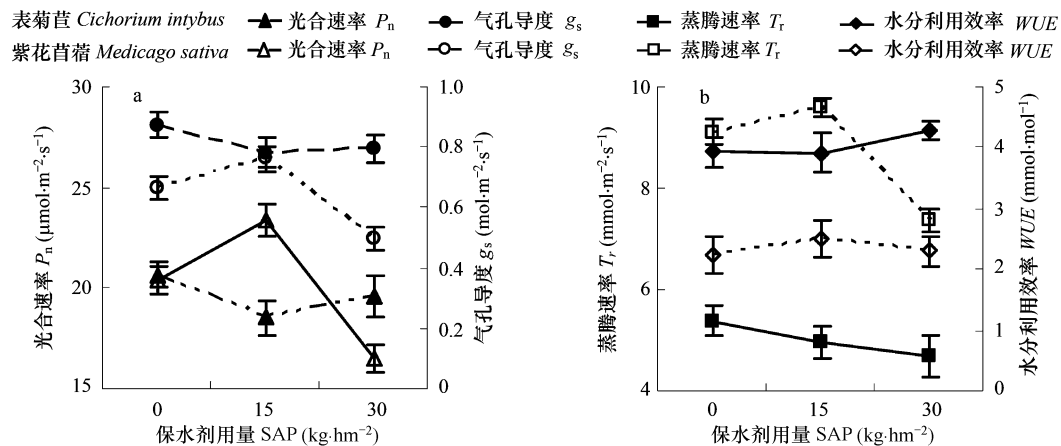


图 1 紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 和菊苣 (*Cichorium intybus*) 叶片气体交换参数对不同用量保水剂的响应

Fig. 1 The response of the leaf gas exchange parameters of *Medicago sativa* and *Cichorium intybus* to the Super absorbent polymer (SAP)

2.3 叶片气体交换参数之间的关系对不同施用量保水剂的响应

紫花苜蓿与菊苣 P_n 与 g_s 、 T_r 和 WUE 的关系如图 2 所示。其中,不同处理紫花苜蓿 P_n 与 g_s 、 T_r 和 WUE 均为正相关关系,但相关性强弱存在差异。紫花苜蓿 P_n 与 g_s 的相关性以施用量为 $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理最强 ($P < 0.01$),依次为施用量为 $15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理和对照 ($P < 0.01$, $P < 0.05$) (图 2a)。 P_n 与 T_r 的相关性以 $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理最紧密 ($P < 0.01$),依次对照和 $15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理 ($P < 0.01$, $P < 0.01$) (图 2b)。 P_n 与 WUE 的相关性以对照最为紧密 ($P < 0.01$),依次为 $15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理和 $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理 ($P < 0.05$, $P > 0.05$) (图 2c)。

菊苣 P_n 与 g_s 、 T_r 和 WUE 的关系不同于紫花苜蓿,且在不同处理间也不同。不同处理菊苣 P_n 与 g_s 和 WUE 均为显著的正相关关系(图 2d 和 f)、但与 T_r 为显著的负相关关系(图 2e)。 P_n 与 g_s 、 T_r 和 WUE 的相关性强弱均表现为 $15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理 $< 30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理 $<$ 对照。这表明不同施用量保水剂对紫花苜蓿和菊苣叶片气体交换参数的影响并不具有一致性。

3 讨论

本试验中,紫花苜蓿和菊苣叶片的结构性状(叶片大小、叶绿素含量和比叶面积)和功能性状(光合速率等)对不同用量保水剂的响应规律存在差异,表明保水剂对不同植物叶片参数的影响并不具有一致性。叶片大小是反映植物获取资源能力的重要指标,叶绿素是植物光合作用的必要条件,其含量在一定程度上影响植物的光合速率^[18],SLA 与植物叶片其它功能性状紧密相关,且在很大程度上可以解释植物光合作用、呼吸作用、叶寿命和潜在生长速率的种间变异^[30],但是这些叶片性状对保水剂的响应却并不一致,这可能与植物叶片的结构和功能有关,表明叶片生理和结构对外界环境条件的变化的适应与响应比较复杂^[31]。

对紫花苜蓿而言,施用量为 $15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,保水剂能显著提高紫花苜蓿的 P_n 、 g_s 和 WUE ,而当保水剂施用量为 $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,保水剂却显著降低了紫花苜蓿的 P_n 、 g_s 和 T_r ,但对其 WUE 无显著影响。这表明,保水剂用量增加并不能总是提高植物的光合速率,其施用量存在一个合适的范围。对菊苣而言,两种保水剂施用水

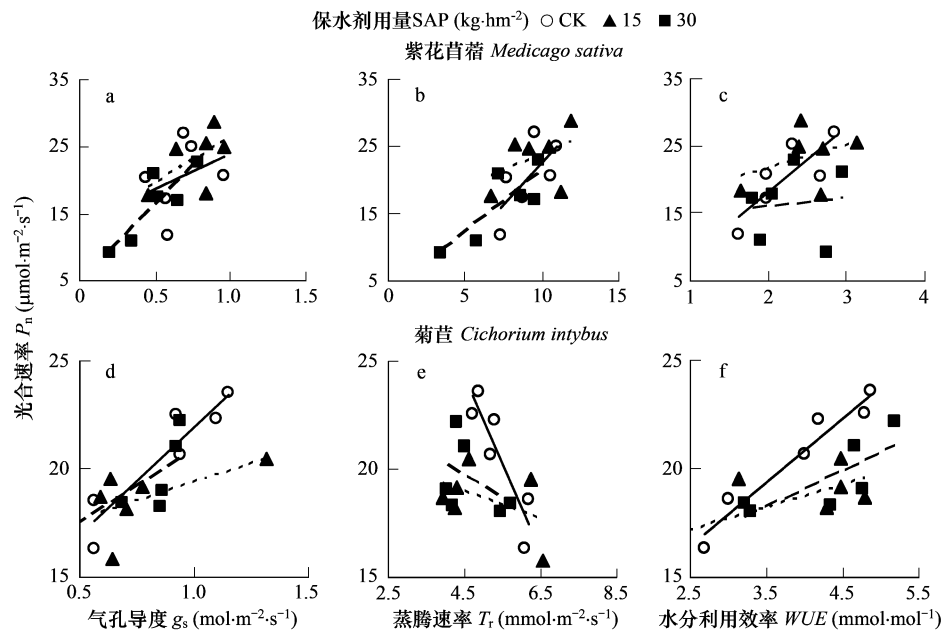


图2 叶片气体交换参数之间的关系对不同施用量保水剂的响应

Fig. 2 The response of the relation between leaf gas exchange parameters of *Medicago sativa* and *Cichorium intybus* to the super absorbent polymer (SAP)

平均降低了菊苣的 P_n 和 T_r , 但不影响其 g_s 和 WUE , 因此在维持一定水分利用效率的条件是以降低植物的 P_n 和 T_r 为代价, 但在干旱地区, 植物光合作用受以水分为主的环境因子的影响常大于其本身生理因子的影响, 因此保水剂可能是通过调控土壤水分进而影响到植物光合生理^[12]。在水分限制的生态系统中, 水分利用效率是一个重要的指标, 与植物的生存、生长和分布密切相关^[32]。水分利用效率低意味着植物缺乏良好的保水能力以适应干旱环境, 同时在利用等量水的条件下不能生成更多的生物量^[33]。本研究中, 保水剂施用量为 $15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理紫花苜蓿的 WUE 均高于对照, 而无论是 $15 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理还是 $30 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理, 菊苣 WUE 与对照相比无显著差异, 表明保水剂对植物 WUE 的影响因物种不同而具有一定的差异, 两种植物采取了不同的生理适应策略来适应变化了的土壤水分条件。方锋等^[34]研究保水剂应用于盆栽辣椒时发现施用保水剂对辣椒叶面积和水分利用效率均优于未施保水剂处理。邓裕等^[35]研究表明在充分和限量供水条件下, 施用保水剂可以使高羊茅保持较高的叶片水势和较高的叶片含水量; 这些结果表明, 保水剂应用效果具有物种和环境条件的差异, 这可能也是本文研究与方锋等^[31]研究结果不一致的原因。同时, 本研究中, 叶片气体交换参数之间的关系对不同用量保水剂的响应也存在差别, 表明保水剂一定程度上改变了叶片气体交换参数之间的关系, 进一步探明不同植物类型适宜的保水剂用量范围以及相关生理指标的响应规律对保水剂的正确推广应用具有重要的价值。

由于植物的光合速率受本身生理和外界环境条件的影响, 进而影响到植物生产力, 因此研究不同植物叶片和光合生理对不同用量保水剂的响应关系具有重要意义。同时应加强保水剂对植物成苗过程的影响和不同生长阶段植物水分关系的影响的研究, 除了研究叶面气孔生理, 应加强对植物整体生理生态的研究。

References:

- [1] Wang S J. The Most Serious Eco-geologically environmental Problem in Southwestern China-Karst Rocky Desertification. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 2003, 22(2): 120–126.
- [2] Li X K, He C X, Jiang Z C. Method and principles of ecological rehabilitation and reconstruction in fragile karst ecosystem. *Carsologica Sinica*, 2003, 22(1): 12–17.
- [3] Duan X H, Zhou Z W. Research on symbiotic relationship between different legume forages and economic young trees in Karst region. *Pratacultural*

- Science, 2007, 24(1): 41—43.
- [4] Zegn F P, Wang K L. Effects of “grain-for-green” models in karst regions in Northwest Guangxi. Rural Eco-environment, 2005, 21(2): 18—22.
- [5] Zhang F C, Kang S Z. Water retaining BP agent and its effect on soil and crops. Transactions of the CSAE, 1999, 15(2): 74—78.
- [6] Huang Z B, Wan H E, Deng X P, *et al.* Super absorbent polymer effects on soil Improvement and drought resistant and water saving of crops. Journal of Soil Erosion and Soil and Water Conservation, 1999, 5(4): 52—56.
- [7] Guo Y F, Luo S G, Wei Z M. Effect of high-hygroscopicity resin upon corn yields and growth indexes. Agricultural Research in the Arid Areas, 2001, 19(4): 74—79.
- [8] Huang Z B, Xin X G, Ning R C, *et al.* The application and development trend of aquasorb in agricultural production. Agricultural Research in the Arid Areas, 2003, 21(3): 11—14.
- [9] Liu Z F, Liang J N, Luo M Z. Effect of water-retaining agent on morphophysiology of autumn-planted sugarcane. Chinese Journal of Tropical Agriculture, 2004, 24(2): 18—22.
- [10] Liu R F, Zhang J P, Zheng X, *et al.* Effects of water-preserving composite of polyacrylamide/attapulgit on soil physical properties. Soils, 2006, 38(1): 86—91.
- [11] Yao Q Q, Xie G S, Chen H J. Effects of water-retaining agent on chlorophyll fluorescence parameters of hevea brasiliensis under drought stress. Chinese Journal of Tropical Crops, 2006, 27(1): 6—11.
- [12] Zhang D Q, Liao Y C, Jia Z K, *et al.* Physiological and ecological effects of water collecting and conservation technique on Dry-land Millet. Acta Agronomica Sinica, 2006, 32(5): 738—742.
- [13] Yang Y H, Zhao S W, Huang Z B. Study on water-conserving ability of multifunctional water absorbent. Agricultural Research in the Arid Area, 2006, 24(5): 35—37.
- [14] Falatah A M, Alomran A M. Impact of a soil conditioner on some selected chemical-properties of a calcareous soil. Arid Soil Research and Rehabilitation, 1995, 9(1): 91—96.
- [15] Taban M, Naeini S A R M. Effect of aquasorb and organic compost amendments on soil water retention and evaporation with different evaporation potentials and soil textures. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2006, 37(13-14): 2031—2055.
- [16] Yan Y L, Yu J, Wei Z M, *et al.* Effects of soil properties on water absorption of super absorbent polymers. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(7): 76—79.
- [17] Cao L H, Zhao S W, Liang X F. Improvement effects of PAM On soil water-stable aggregates and its mechanisms in different soils in the Loess Plateau. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2008, 24(1): 45—49.
- [18] Zhuang W H, Wu P T, Feng H, *et al.* Effects of super absorbent polyer of sodium polyacrylate used in soil on the growth and yield of winter wheat. 2008, 24(5): 37—41.
- [19] Alharbi A R, Alomran A M, Wahdan H, Shalaby A A. Impact of irrigation regime and addition of a soil conditioner on tomato seedling growth. Arid Soil Research and Rehabilitation, 1994, 8(3): 285—290.
- [20] Shao Y J, Kang L J, An J H, *et al.* Effect of kehan 98 highly absorbent resin on seed sprouting percentage and other physiology character of some crops. Acta Agriculture Boreali-sinica, 1999, 14(suppl.): 73—75.
- [21] Feng J C, Hu X L, Su J L, *et al.* The effects of water-retaining agent on chlorophyll a fluorescence parameters of robinia pseudoacacia under drought stress. Acta Bot. Boreal.-Occident. Sin, 2002, 22(5): 1144—1149.
- [22] Chi Y G, Huang Z B, Li M S, *et al.* Effects of aquasorb combined with other chemical materials on physiological characteristics of maize. Agricultural Research in the Arid Areas, 2005, 23(6): 132—136.
- [23] Yu H Y, Deng S Y, Yi Y, *et al.* Effect of water absorbent on physiological and biochemical characteristics of super sweet corn seedling under water stress. Journal of Maize Sciences, 2006, 14(3): 87—89.
- [24] Fang F, Huang Z B. Effect of improved ridge-furrow planting measures on water use efficiency of maize in loess hilly region. Agricultural Research in the Arid Areas, 2006, 24(5): 20—24.
- [25] Choudhary M I, Shalaby A A, Alomran A M. Water-holding capacity and evaporation of calcareous soils as affected by 4 synthetic-polymers. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 1995, 26(13-14): 2205—2215.
- [26] Falatah A M, Choudhary M I, AlOmran A M. Changes in some chemical properties of arid soils as affected by synthetic polymers. Arid soil Research and Rehabilitation, 1996, 10(3): 277—285.
- [27] AlSheikh A A, AlDarby A M. The combined effect of soil gel-conditioner and irrigation water quality and level on Growth, productivity, and water use efficiency of snap bean (*Phaseolus vulgaris* L) in sandy soils. Arab Gulf Journal of Scientific Research, 1996, 14(3): 767—793.
- [28] Penuelas J, Filella I, Llusia J, *et al.* Comparative field study of spring and summer leaf gas exchange and photobiology of the Mediterranean trees *Quercus ilex* and *Phillyrea latifolia*. Journal of Experiment Botany, 1998, 49(319): 229—238.

- [29] Denis V, Eric G, Bill S, *et al.* Specific leaf area and dry matter content estimate thickness in laminar leaves. *Annals of Botany*, 2005, 96: 1129—1136.
- [30] Ackerly D D, Knight C A, Weiss S B, *et al.* Leaf size, specific leaf area and microhabitat distribution of chaparral woody plants: contrasting patterns in species level and community level analyses. *Oecologia*, 2002, 130: 449—457.
- [31] Wright I J, Reich P B, Westoby M, *et al.* The worldwide leaf economics spectrum. *Nature*, 2004, 428: 821—827.
- [32] Chen S P, Bai Y F, Zhang L X, *et al.* Comparing physiological responses of two dominant grass species to nitrogen addition in Xilin River Basin of China. *Environmental and Experimental Botany*, 2005, 53: 65—75.
- [33] Sinclair T R, Tanner C B, Bennett J M. Water-use efficiency in crop production. *BioScience*, 1984, 34: 36—40.
- [34] Fang F, Huang Z B, Yu M Y. The effect of aquasorb and water controlling on capsicum growth and water use efficiency. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2004, 12(2): 73—76.
- [35] Deng Y, Deng X W, Li F, *et al.* Effects of aquasorb on the growth and water use efficiency of tall fescue. *Pratacultural science*, 2008, 28(1): 54—57.

参考文献:

- [1] 王世杰. 喀斯特石漠化——中国西南最严重的生态地质环境问题. *矿物岩石地球化学通报*, 2003, 22(2): 120—126.
- [2] 李先琨, 何成新, 蒋忠诚. 岩溶脆弱生态区生态恢复、重建的原理与方法. *中国岩溶*, 2003, 22(1): 12—17.
- [3] 段新慧, 周自玮. 石漠化地区不同豆科牧草品种与经济幼林共生性研究. *草业科学*, 2007, 24(1): 41—43.
- [4] 曾馥平, 王克林. 桂西北喀斯特地区 6 种退耕还林(草)模式的效应. *农村生态环境*, 2005, 21(2): 18—22.
- [5] 张富仓, 康绍忠. BP 保水剂及其对土壤与作物的效应. *农业工程学报*, 1999, 15(2): 74—78.
- [6] 黄占斌, 万惠娥, 邓西平, 等. 保水剂在改良土壤和作物抗旱节水中的效应. *土壤侵蚀与水土保持学报*, 1999, 5(4): 52—56.
- [7] 郭亚芬, 罗盛国, 魏自民. 高分子树脂对玉米产量及生育指标的影响. *干旱地区农业研究*, 2001, 19(4): 74—79.
- [8] 黄占斌, 辛小桂, 宁荣昌. 保水剂在农业生产中的应用与发展趋势. *干旱地区农业研究*, 2003, 21(3): 11—14.
- [9] 刘子凡, 梁计南, 罗明珠, 等. 土壤保水剂对秋植蔗形态生理效应的研究. *热带农业科学*, 2004, 24(2): 18—22.
- [10] 刘瑞凤, 张俊平, 郑欣, 等. PAM-atta 复合保水剂对土壤物理性质的影响. *土壤*, 2006, 38(1): 86—91.
- [11] 姚庆群, 谢贵水, 陈海坚. 干旱下保水剂对橡胶苗叶绿素荧光参数的影响. *热带作物学报*, 2006, 27(1): 6—11.
- [12] 张德奇, 廖允成, 贾志宽, 等. 旱地谷子集水保水技术的生理生态效应. *作物学报*, 2006, 32(5): 738—742.
- [13] 杨永辉, 赵世伟, 黄占斌. 沃特多功能保水剂保水性能研究. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(5): 35—37.
- [16] 闫永利, 于健, 魏占民, 等. 土壤特性对保水剂吸水性能的影响. *农业工程学报*, 2007, 23(7): 76—79.
- [17] 曹丽花, 赵世伟, 梁向锋. PAM 对黄土高原主要土壤类型水稳性团聚体的改良效果及机理研究. *农业工程学报*, 2008, 24(1): 45—49.
- [18] 庄文化, 吴普特, 冯浩, 等. 土壤中施用聚丙烯酸钠保水剂对冬小麦生长及产量影响. *农业工程学报*, 2008, 24(5): 37—41.
- [20] 邵艳军, 康立娟, 安建辉, 等. 科瀚 98 抗旱保水剂浸种处理对几种作物出苗率及部分生理指标的影响. *华北农业学报*, 1999, 14(增刊): 73—75.
- [21] 冯建灿, 胡秀丽, 苏金乐, 等. 保水剂对干旱胁迫下刺槐叶绿素 a 荧光动力学参数的影响. *西北植物学报*, 2002, (5): 1144—1149.
- [22] 迟永刚, 黄占斌, 李茂松, 等. 保水剂与不同化学材料配合对玉米生理特性的影响. *干旱地区农业研究*, 2005, 23(6): 132—136.
- [23] 余红英, 邓世媛, 尹艳, 等. 保水剂对水分胁迫下超甜玉米生理生化性状的影响. *玉米科学*, 2006, 14(3): 87—89.
- [24] 方锋, 黄占斌. 黄土丘陵区垄沟改良措施对玉米水分利用效率的影响. *干旱地区农业研究*, 2006, 24(5): 20—24.
- [34] 方锋, 黄占斌, 俞满源. 保水剂与水分控制对辣椒生长及水分利用效率的影响研究. *中国生态农业学报*, 2004, 12(2): 73—76.
- [35] 邓裕, 邓湘雯, 李芳, 等. 保水剂对高羊茅生长和水分利用效率的影响. *草业科学*, 2008, 28(1): 54—57.