

网络出版日期:2017-06-05
网络出版地址:http://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1220.S.20170605.1715.018.html

5个苜蓿品种群体光合生产特征比较

张前兵^{1,2},李艳霞¹,于磊^{1,2},鲁为华^{1,2},马春晖¹

(1. 石河子大学 动物科技学院,新疆石河子 832003;2. 新疆生产建设兵团绿洲生态农业重点实验室,新疆石河子 832003)

摘 要 为探讨绿洲区不同苜蓿品种群体光合生产特征,选择5个苜蓿品种,在苜蓿生长第2年对冠层群体辐射透过系数及群体光合速率进行测定与分析。结果表明,随着苜蓿植株生长发育进程的推进,各苜蓿品种的散射和直接辐射透过系数均呈下降的趋势,散射辐射透过系数从分枝前期到初花期下降了31.6%~55.7%,直接辐射透过系数从天顶角7.5°~67.5°呈逐渐变小的趋势。苜蓿群体光合速率的日变化呈单峰曲线,且无“午休”现象,各品种苜蓿群体光合速率的峰值均出现在13:30,‘胖多’的群体光合速率日均值最大,为3.39 g·m⁻²·h⁻¹,‘阿尔冈金’最小,为2.85 g·m⁻²·h⁻¹。不同品种苜蓿的群体光合速率在初花期达到峰值,均在4.0 g·m⁻²·h⁻¹以上。整个生育期,各苜蓿品种的群体光合速率大小顺序为:‘胖多’>‘金皇后’>‘WL-323’>‘阿尔冈金’>‘新牧1号’。各品种苜蓿干草产量均为第1茬最高,占全年总产量权重的33.82%~34.88%,第4茬产量最低,其权重为15.81%~16.51%。不同品种之间,‘胖多’的总干草产量最高,为22 997 kg·hm⁻²,其次分别为‘阿尔冈金’‘金皇后’‘WL-323’和‘新牧1号’。从群体光合速率及产量的角度考虑,‘胖多’优于其他4个品种,但其生产性能的稳定性较差。

关键词 苜蓿;群体光合;辐射透过系数;叶分布;滴灌;绿洲区

中图分类号 S541.9 **文献标志码** A **文章编号** 1004-1389(2017)06-0873-09

紫花苜蓿(*Medicago sativa* L.)在中国具有悠久的栽培历史^[1],由于具有产草量高、营养品质好、抗逆性强等众多优点,被誉为“牧草之王”^[2-3]。然而,由于苜蓿传统的生产管理方式较为粗放及品种筛选不合理等原因,导致苜蓿植株的光合能力较弱^[4],连续种植多年后产量水平降低较快,因此在苜蓿实际生产中从光合生理的角度探讨苜蓿生长发育特性,对苜蓿品种筛选及高产栽培技术改进具有重要的意义。

光合作用是植物生长发育和产量形成的基础^[5],作物产量的90%~95%来自光合作用形成的有机物^[6]。群体光合速率受作物冠层结构状况的影响,优化冠层结构是增强作物群体光合作用的一项重要途径^[7];而改善作物的冠层结构,使更多的光能通过冠层到达植株低部叶片,增加冠层截获光的比例是作物品种筛选和栽培技术改进的重要目标^[8-9]。研究表明,冠层叶片的着生方式与群体光合效能的高低有着密切的关系,顶部叶片

较直立,接近基部逐渐变为水平,是理想的冠层叶片配置方式,有利于提高群体光合生产^[10]。苜蓿叶片的光合作用是干草产量的直接来源,其光合作用也成为近年来学者研究的主要对象^[11-13]。有关苜蓿光合作用的研究主要集中在叶片光合速率上^[14-15],对苜蓿群体光合生产特征的研究鲜见报道。而对于多年生的紫花苜蓿而言,不同品种间的群体光合生产特征研究较少。陶雪等^[16]研究认为,不同灌溉方式对苜蓿光合特性和产草量具有重要影响,但并未涉及滴灌条件下苜蓿冠层群体辐射透过系数及其与群体光合生产的关系。因此,本研究在新疆绿洲区的气候环境条件下,通过对滴灌条件下苜蓿的散射辐射透过系数、直射辐射透过系数、叶分布及群体光合速率的测定,明确绿洲区滴灌苜蓿群体光合生产特征,以期从群体光合生产的角度为中国绿洲区苜蓿品种筛选及高产栽培技术改进提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验于 2014 年在石河子大学农学院试验站牧草试验田(44°26′ N,85°95′ E)进行,年平均气温 7.5~8.2℃,年日照时数 2 318~2 732 h,无霜期 147~191 d,年平均降雨量 180~270 mm,年蒸发量 1 000~1 500 mm。土壤类型为灰漠土,土壤质地为壤土。0~20 cm 耕层土壤含有机质 20.1 g·kg⁻¹、全氮 1.16 g·kg⁻¹、碱解氮 72.8 mg·kg⁻¹、速效磷 34.8 mg·kg⁻¹。前茬作物为棉花。

1.2 试验设计

供试品种为新疆大田普遍种植的 5 个苜蓿品种,涵盖了本地普遍种植的苜蓿品种,具有较强的代表性,具体品种名称及来源见表 1。2013-04-20 播种,播种方式为人工条播,播种量为 18 kg·hm⁻²,播种行距 30 cm,播种深度 2.0 cm。小区面积 5.0 m×8.0 m,重复 3 次。由于苜蓿属多年生豆科牧草,其品种特性在播种当年往往不能充分表现,因此在苜蓿生长的第 2 年(2014 年)对其进行系统调查研究,针对第 1 茬分别在分枝前期、分枝盛期、孕蕾期、初花期及盛花期进行冠层群体辐射透过系数及群体光合速率的田间测定。苜蓿建植第 2 年共刈割 4 茬,在每茬苜蓿初花期(开花 10 %左右)进行刈割,每一茬苜蓿灌溉 2 次水,共灌溉 8 次,每次灌溉量为 600 m³·hm⁻²,根据田间苜蓿生长及天气情况在刈割前 8~10 d、刈割后 5~6 d 进行灌溉,灌溉方式为滴灌,滴灌带浅埋于地表 8~10 cm,间距 60 cm,滴灌材料为新疆石河子天业集团有限公司生产,滴灌系统主管道直径为 90 mm,支管道直径为 63 mm,副管道直径为 32 mm,滴灌带直径为 12.5 mm,滴头流量为 1.1 L·h⁻¹,滴头间距为 30 cm。其他田间管理按照当地滴灌苜蓿生产田进行。

1.3 测定指标与方法

1.3.1 冠层群体辐射透过系数 采用 CI-110 数字式植物冠层结构分析仪(美国 CID 公司)测定冠层结构指标。分别在第 1 茬分枝前期、分枝盛期、孕蕾期、初花期于 7:00—9:00 和 19:00—21:00 没有强光直射时,将安装有鱼眼探测头的观测棒放置在苜蓿行间的中央,调整好水平,每个小区测定 3~5 个点。散射辐射透过系数(TCDP)和直射辐射透过系数(TCRP)通过 CI-110 分析仪

自带的操作软件自动计算得出。

表 1 苜蓿品种及来源

Table 1 The source of alfalfa cultivars

品种	Cultivar	来源	Source
新牧 1 号	Xinmu No. 1	新疆农业大学	Xinjiang Agricultural University
WL-323		百绿集团	Barenbrug
阿尔冈金	Algonquin	百绿集团	Barenbrug
胖多	Pangduo	新疆新天科文苜蓿有限公司	Xinjiang Xintian Kewen alfalfa Limited company
金皇后	Gold queen	新疆新天科文苜蓿有限公司	Xinjiang Xintian Kewen alfalfa Limited company

1.3.2 群体光合速率 测定参照马富裕等^[17]方法。使用 GHX-305 型光合作用仪在晴天光强稳定为 1 200~1 400 μmol·m⁻²·s⁻¹(11:00—13:00)时进行田间测定。测定用的同化箱由轻质铝合金框架和专用同化薄膜(为透明聚脂薄膜,透光率为 85%~90%,同化箱罩住植物冠层并在密封后 2 min 内不形成雾滴)组成,箱内装有 2 个风扇以搅拌气体。根据苜蓿的生长特性,同化箱底座大小为长 60 cm、宽 50 cm,高度依不同物候期株高而定。每个小区选择有代表性的样点 3 个,每个样点测定 3 次,不同品种采用轮回测定的方法,每个处理每次测定时间为 60 s,初花期日变化每隔 2 h 测定 1 次。

1.3.3 干草产量 用样方法测定。在每茬苜蓿初花期(开花 10 %左右)随机选取长势均匀一致且能够代表小区长势的苜蓿植株,以 1 m×1 m 为 1 个样方,用剪刀剪取样方内的苜蓿植株(留茬高度 5 cm),剔除杂草后称量,记录苜蓿植株鲜草产量,重复 3 次;另取 3 份 250 g 左右苜蓿鲜草样带回实验室于阴凉通风处风干至恒量,测定其含水率并折算出苜蓿干草产量(kg·hm⁻²)。具体计算公式为:

干草产量 = 鲜草产量 × (1 - 含水率)

1.3.4 变异系数 在统计分析中,变异系数是反映一组数据相对波动大小的一个常用参数,即:

$V=100\ s/x$

式中:V 为变异系数,x 与 s 分别代表该组数据的均值与标准差。

1.3.5 数据处理与分析 采用 Excel 2007 和 SPSS 18.0 进行数据处理分析,采用新复极差法(Duncan's)对数据进行差异显著性分析,用 Sig-maplot 10.0 作图。

2 结果与分析

2.1 散射辐射透过系数

散射辐射是指太阳辐射以散射的形式到达地面的辐射,可进行光合作用,对光合作用有较大的辅助作用^[18]。各苜蓿品种不同生育期的散射辐射透过系数如表 2 所示,随着苜蓿植株生长发育进程的推进,各苜蓿品种的散射辐射透过系数均呈下降的趋势,分枝前期与分枝盛期差异不显著($P>0.05$),除品种‘WL-323’和‘胖多’外,分枝

盛期、孕蕾期、初花期差异均显著($P<0.05$)。不同苜蓿品种各生育时期散射辐射透过系数下降幅度不同,其中,‘胖多’的下降幅度最小,从分枝前期到初花期下降 31.6%,‘金皇后’的下降幅度最大,从分枝前期到初花期下降 55.7%,这与其株型及品种的抗倒伏性能有着密切的关系,田间肉眼也可以观察到‘胖多’的株型较为直立,而‘金皇后’在孕蕾期以后出现不同程度的倒伏现象,其他苜蓿品种则不明显。

表 2 各苜蓿品种不同生育时期散射辐射透过系数($\bar{x}\pm s$)

Table 2 The transmission coefficient of diffuse penetration at different growth stages in alfalfa varieties

品种 Variety	分枝前期 Early branching stage	分枝盛期 Full branching stage	孕蕾期 Buding stage	初花期 Early flowering stage
新牧 1 号 Xinmu No. 1	0.393±0.01 a	0.370±0.02 a	0.313±0.01 b	0.196±0.01 c
WL-323	0.432±0.02 a	0.360±0.01 ab	0.308±0.01 b	0.239±0.01 c
阿尔冈金 Algonquin	0.427±0.02 a	0.391±0.02 a	0.305±0.01 b	0.239±0.01 c
胖多 Pangduo	0.392±0.01 a	0.379±0.02 ab	0.333±0.02 b	0.268±0.01 c
金皇后 Gold queen	0.433±0.02 a	0.394±0.02 a	0.254±0.01 b	0.192±0.01 c

注:同行中不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。下表同。
Note: The different lowercase letter in same row is significant ($P<0.05$). The same as below.

2.2 直射辐射透过系数

直接辐射是指太阳辐射以平行光的方式到达地面的辐射,是光合作用的主要光源。各苜蓿品种不同生育期的直射辐射透过系数如表 3 所示,各苜蓿品种的直射辐射透过系数从天顶角 7.5°~67.5°呈逐渐变小的趋势,在 7.5°~22.5°天顶角下,从孕蕾期开始各苜蓿品种的直接辐射透过系数显著下降,相同生育时期同一苜蓿品种差异不显著($P>0.05$);在 37.5°~67.5°天顶角下,各生育时期不同苜蓿品种的直接辐射透过系数下降幅度较小,且在 52.5°~67.5°天顶角下差异不显著($P>0.05$)。在相同天顶角度下,随苜蓿生育时期的推进,各苜蓿品种的直接辐射透过系数均呈下降的趋势。相同生育时期及天顶角度下,不同苜蓿品种间直接辐射透过系数也存在一定的差异。

2.3 叶分布

为了更清楚地描述叶分布状况,将所观测结果在 360°范围内以 45°为 1 个单位,进行 8 等划分,结果表明(表 4),随苜蓿生育进程的不断推进,8 个区域的叶片分布频率均逐渐增大,说明在分枝前期至初花期随苜蓿植株的生长发育,植株冠层内部在不断地进行自我调整,以更加充分地

利用空间及光热资源。各品种苜蓿的变异系数随生育进程的推进其值逐渐减小,这也证明冠层结构在现有条件下不断趋于合理,但‘WL-323’、‘阿尔冈金’和‘金皇后’品种的变异系数在初花期略有增加,这是由于在其生长后期这 3 个品种均出现不同程度的倒伏现象所致。

2.4 群体光合速率

2.4.1 初花期各苜蓿品种群体光合速率的日变化 群体光合速率综合了叶片形态、基因型效应、冠层结构等因素,而且能准确地描述每单位土地面积上的光合能力,因此群体光合速率与作物产量具有密切的关系^[19]。本试验在初花期测定了各品种苜蓿的群体光合速率日变化,结果表明(图 1),苜蓿群体光合速率的日变化呈单峰曲线,这与其他作物群体光合速率的表现一致。各品种苜蓿群体光合速率的峰值均出现在 13:30,所不同的是,各品种苜蓿的群体光合速率的日均值有差异,顺序为‘胖多’(3.39 g·m⁻²·h⁻¹)>‘WL-323’(3.27 g·m⁻²·h⁻¹)>‘金皇后’(3.24 g·m⁻²·h⁻¹)>‘新牧 1 号’(3.09 g·m⁻²·h⁻¹)>‘阿尔冈金’(2.85 g·m⁻²·h⁻¹)。

表 3 不同天顶角下各苜蓿品种的直接辐射透过系数

Table 3 The transmission coefficient of radiation penetration under different zenith angle in different alfalfa varieties		天顶角 Zenith angle				
		7.5°	22.5°	37.5°	52.5°	67.5°
分枝前期 Early branching stage	新牧 1 号 Xinmu No. 1	1.000±0.02 a	0.783±0.02 a	0.457±0.02 b	0.270±0.01 c	0.137±0.01 c
	WL-323	1.000±0.04 a	0.833±0.03 a	0.483±0.02 b	0.250±0.02 c	0.137±0.01 c
	阿尔冈金 Algonquin	0.927±0.03 a	0.720±0.02 a	0.497±0.02 b	0.293±0.01 c	0.163±0.01 c
	胖多 Pangduo	0.923±0.03 a	0.703±0.01 a	0.407±0.02 b	0.230±0.01 c	0.137±0.01 c
	金皇后 Gold queen	0.950±0.03 a	0.720±0.03 a	0.530±0.03 b	0.287±0.01 c	0.157±0.01 c
分枝盛期 Full branching stage	新牧 1 号 Xinmu No. 1	0.917±0.03 a	0.713±0.02 a	0.453±0.02 b	0.220±0.01 c	0.117±0.01 c
	WL-323	0.980±0.03 a	0.610±0.02 b	0.437±0.02 b	0.257±0.01 c	0.127±0.01 c
	阿尔冈金 Algonquin	0.850±0.03 a	0.713±0.02 a	0.437±0.02 b	0.280±0.02 c	0.107±0.01 c
	胖多 Pangduo	0.903±0.03 a	0.713±0.02 a	0.447±0.03 b	0.247±0.02 c	0.127±0.01 c
	金皇后 Gold queen	0.967±0.03 a	0.747±0.02 a	0.460±0.02 b	0.220±0.01 c	0.093±0.01 d
孕蕾期 Buding stage	新牧 1 号 Xinmu No. 1	0.443±0.02 a	0.420±0.02 a	0.367±0.02 a	0.250±0.02 c	0.103±0.01 c
	WL-323	0.377±0.02 a	0.363±0.01 a	0.330±0.02 a	0.187±0.01 c	0.117±0.01 c
	阿尔冈金 Algonquin	0.397±0.02 a	0.373±0.02 a	0.360±0.02 a	0.240±0.01 c	0.097±0.01 d
	胖多 Pangduo	0.433±0.02 a	0.383±0.02 a	0.337±0.02 a	0.263±0.02 c	0.150±0.01 c
	金皇后 Gold queen	0.407±0.02 a	0.387±0.02 a	0.310±0.01 a	0.200±0.01 c	0.140±0.01 c
初花期 Early flowering stage	新牧 1 号 Xinmu No. 1	0.390±0.02 a	0.330±0.02 a	0.280±0.02 a	0.170±0.01 c	0.090±0.01 c
	WL-323	0.280±0.02 a	0.270±0.02 a	0.260±0.02 a	0.180±0.01 c	0.050±0.01 d
	阿尔冈金 Algonquin	0.270±0.02 a	0.280±0.02 a	0.360±0.02 a	0.230±0.02 c	0.100±0.01 c
	胖多 Pangduo	0.300±0.02 a	0.275±0.01 a	0.255±0.02 a	0.195±0.01 c	0.110±0.01 c
	金皇后 Gold queen	0.360±0.02 a	0.290±0.02 a	0.255±0.02 a	0.205±0.02 c	0.125±0.01 c

表 4 各苜蓿品种不同生育期的叶分布

Table 4 Leaf distribution of alfalfa varieties at different growth stages		角度/° Angle								变异系数 Variable coefficient
		0~45	45~90	90~135	135~180	180~225	225~270	270~315	315~360	
分枝前期 Early branching stage	新牧 1 号 Xinmu No. 1	0.91	0.77	0.24	0.71	0.78	0.40	0.66	0.86	0.347 5
	WL-323	0.83	0.78	0.43	0.76	0.76	0.35	0.47	0.75	0.296 9
	阿尔冈金 Algonquin	0.90	0.82	0.30	0.69	0.67	0.25	0.58	0.85	0.386 5
	胖多 Pangduo	0.87	0.72	0.56	0.71	0.71	0.37	0.63	0.89	0.245 5
	金皇后 Gold queen	0.81	0.85	0.54	0.72	0.71	0.20	0.45	0.76	0.348 9
分枝盛期 Full branching stage	新牧 1 号 Xinmu No. 1	0.88	0.75	0.30	0.69	0.73	0.45	0.75	0.90	0.302 9
	WL-323	0.87	0.78	0.31	0.65	0.71	0.44	0.77	0.91	0.306 2
	阿尔冈金 Algonquin	0.90	0.84	0.33	0.64	0.68	0.50	0.63	0.86	0.289 3
	胖多 Pangduo	0.80	0.66	0.48	0.73	0.74	0.60	0.53	0.82	0.185 9
	金皇后 Gold queen	0.92	0.84	0.43	0.65	0.80	0.60	0.49	0.79	0.253 9
孕蕾期 Buding stage	新牧 1 号 Xinmu No. 1	0.95	0.86	0.56	0.53	0.66	0.71	0.90	0.96	0.226 5
	WL-323	0.77	0.86	0.57	0.81	0.87	0.85	0.81	0.73	0.125 6
	阿尔冈金 Algonquin	0.86	0.74	0.31	0.66	0.70	0.90	0.86	0.87	0.263 4
	胖多 Pangduo	0.88	0.85	0.57	0.90	0.85	0.57	0.54	0.82	0.210 4
	金皇后 Gold queen	0.91	0.93	0.71	0.70	0.64	0.63	0.78	0.85	0.152 9
初花期 Early flowering stage	新牧 1 号 Xinmu No. 1	0.91	0.65	0.47	0.91	0.90	0.74	0.90	0.89	0.200 7
	WL-323	0.75	0.71	0.71	0.90	0.92	0.82	0.77	0.48	0.181 5
	阿尔冈金 Algonquin	0.48	0.88	0.40	0.83	0.89	0.97	0.97	0.83	0.279 5
	胖多 Pangduo	0.74	0.83	0.71	0.81	0.80	0.54	0.73	0.68	0.127 2
	金皇后 Gold queen	0.97	0.95	0.66	0.41	0.70	0.90	0.92	0.96	0.241 6

2.4.2 不同生育时期群体光合速率比较 在不同生育时期对不同品种苜蓿进行群体光合速率的测定,结果表明(图 2),从分枝期开始,随着苜蓿植株生长发育进程的推进,苜蓿植株的群体光合速率逐渐增强,在初花期达到峰值,均在 4.0

g·m⁻²·h⁻¹以上,盛花期略有下降,以后逐渐降低。相同生育时期,‘胖多’的群体光合速率显著大于其他各品种($P<0.05$)。整个生育期,各苜蓿品种的群体光合速率表现为‘胖多’>‘金皇后’>‘WL-323’>‘阿尔冈金’>‘新牧 1 号’。

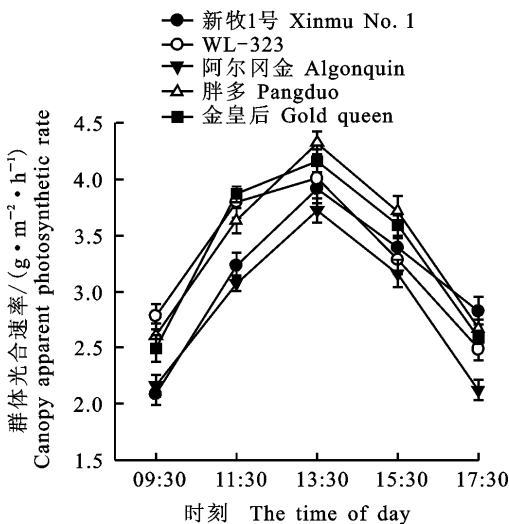
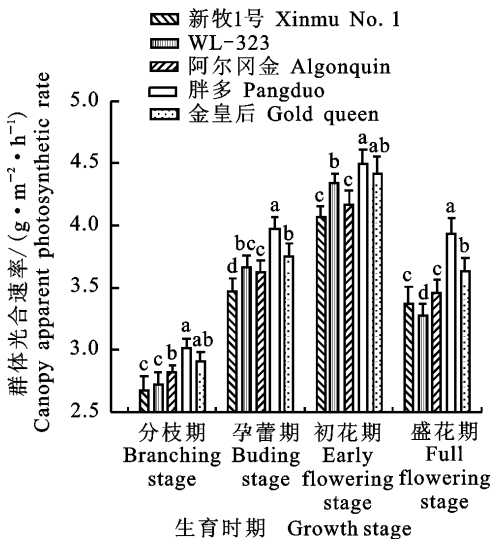


图 1 初花期各品种苜蓿群体光合速率日变化
Fig. 1 Diurnal variations of canopy apparent photosynthetic rate at early flowering stage in different alfalfa varieties



相同生育时期不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)。

The different lowercase letter of the same growth stage is significant ($P<0.05$).

图 2 各品种苜蓿不同生育时期群体光合速率

Fig. 2 Canopy apparent photosynthetic rate at different growth stages in different alfalfa varieties

2.5 苜蓿干草产量

产量是衡量草地生产能力的主要指标。苜蓿的产量是指单位面积上苜蓿通过光合作用生产的地上部分各种器官生物量的总和。对各品种苜蓿不同茬次的产量进行测定,结果表明(表 5),随刈割次数的增多各品种苜蓿干草产量呈现逐渐降低的趋势,均为第 1 茬最高,约占全年总产量权重的

33.82%~34.88%,其次分别为第 2 茬、第 3 茬,第 4 茬产量最低,其权重也最小,为 15.81%~16.51%,且第 1 茬干草产量显著大于其他各茬次($P<0.05$),第 2 茬与第 3 茬差异不显著($P>0.05$),但均显著大于第 4 茬($P<0.05$)。不同品种之间,‘胖多’的总干草产量最高为 22 997 $\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$,其次分别为‘阿尔冈金’‘金皇后’‘WL-323’和‘新牧 1 号’。

苜蓿产草量的变异系数反映苜蓿年内生产力的均匀程度。变异系数越大,则年内各茬次苜蓿干草产量的稳定性越差,而变异系数小的品种则各茬次的干草产量较为稳定。从表 5 可以看出,‘胖多’的变异系数最大,为 0.314 4,说明该品种虽然总产量最高,但其生产性能的发挥不稳定,易受外界因素的影响,‘阿尔冈金’的变异系数最小,为 0.283 1,说明该品种的干草产量在茬次间的波动较小,其生产性能比较稳定。

3 讨论

3.1 不同品种苜蓿光辐射特性

群体辐射透过系数可以反映光辐射在作物冠层中的传播状况及透光性^[20]。冯国艺等^[18]研究认为,群体的散射辐射和直射辐射透过系数分别为 0.20~0.55 和 0.22~0.56 时处于较适宜的范围,中、下层叶片受光良好,冠层各层次叶片群体光合速率差异较小。李源等^[21]研究发现,不同高度层次植株的散射辐射透过系数表现出规律的变化,在植株顶端散射辐射透过系数最高,中层有所降低,而下层又逐渐升高,其群体的散射辐射和直射辐射透过系数分别为 0.25~0.56 和 0.29~0.63。本研究结果表明,各苜蓿品种在不同生育时期的群体散射辐射系数为 0.192~0.433,与前人研究结果相比处于适宜的范围之内(表 2)。韩清芳等^[22]研究认为,苜蓿上、中、下叶位光合速率的变化,在光合有效辐射达到全天最大值之前主要受气孔因素的影响,而达到全天最大值之后则受非气孔因素的影响。不同品种苜蓿群体辐射透过系数从孕蕾期开始显著降低(表 2、3),这主要是由于在分枝期苜蓿行间还没有完全封垄,群体辐射透过系数仍较大,从孕蕾期开始苜蓿行间封垄,群体散射辐射和直射辐射透过系数减小。可见,从孕蕾期开始,不同苜蓿品种群体辐射透过系数开始处于较适宜的范围,既避免了光辐射在苜蓿冠层中传播衰减而造成群体郁闭,又保证了苜

表 5 苜蓿干草产量
Table 5 Hay yield of different alfalfa varieties

品种 Variety	第 1 茬/ (kg·hm ⁻²) First cut	权重/ % Weight	第 2 茬/ (kg·hm ⁻²) Second cut	权重/ % Weight	第 3 茬/ (kg·hm ⁻²) Third cut	权重/ % Weight	第 4 茬/ (kg·hm ⁻²) Fourth cut	权重/ % Weight	变异系数 Variable coefficient	总产量/ (kg·hm ⁻²) Total yield
新牧 1 号 Xinmu No. 1	7 500 a	34. 88	5 492 b	25. 54	5 110 b	23. 76	3 400 c	15. 81	0. 313 1	21 502
WL-323	7 661 a	34. 86	5 724 b	26. 04	5 103 b	23. 22	3 491 c	15. 88	0. 313 7	21 979
阿尔冈金 Algonquin	7 611 a	33. 82	5 700 b	25. 33	5 480 b	24. 35	3 717 c	16. 51	0. 283 1	22 507
胖多 Pangduo	7 883 a	34. 28	5 980 b	26. 00	5 100 b	22. 18	3 633 c	15. 80	0. 314 4	22 997
金皇后 Gold queen	7 706 a	34. 65	5 678 b	25. 53	5 253 b	23. 62	3 601 c	16. 19	0. 303 7	22 237

注:行中不同小写字母表示相同品种苜蓿不同茬次间差异显著($P<0.05$)。

Note: The different lowercase letter in row presents different cuts of the same alfalfa varieties is significant($P<0.05$).

苜蓿植株对光能的充分利用,进而提高光能利用效率。

3.2 不同品种苜蓿群体光合生产特性

光合作用是作物生产力构成的重要因素,研究作物的光合作用有助于人们采取合适的栽培管理措施以提高作物的光合性能,进而提高作物的产量。通常,作物的光合特性用光合速率来描述。由于作物的单叶光合速率与产量之间的关系众说不一,学者们开始把目光转向对群体光合速率的研究上^[23]。尽管并非任何条件下群体光合速率与作物产量都有很好的相关性,但用群体光合速率这一指标来分析作物光合性能与产量之间的关系比用单叶更为准确,对此已经基本形成了共识^[24-25]。作物光合作用日变化是在一定的天气环境条件下,各种生理生态因子综合效应的最终反应,其动态变化可作为分析产量限制因素的重要依据^[26]。本试验在田间条件下各品种苜蓿的群体光合速率日变化呈单峰曲线(图 1),并未发现苜蓿植株群体光合有“午休”现象。而对叶片光合日变化的研究表明,苜蓿叶片光合速率日变化均表现出光合“午休”现象^[27-28],产生这种现象的原因可能与群体光合需要高光强及群体内各叶片受光不同^[24],而单叶的光合“午休”主要受气孔因素限制有关^[26]。

光合特征是苜蓿的生理生态特性之一,研究不同品种苜蓿的光合特性有利于了解不同品种苜蓿对光的利用率,进而分析其光合性能的差异。不同作物之间的光合性能差异较大,同一作物不同品种之间的光合性能也存在显著差异。苜蓿不同品种之间的群体光合强弱也存在差异,一般情况下,高产苜蓿品种的群体光合速率较高,低产品种的群体光合速率也较低。吕小东等^[29]对 11 个国外苜蓿品种光合性能的研究认为,苜蓿各品种间光合性能有很大差异,引进品种‘WL323’‘金

皇后’‘阿尔冈金’和‘农宝’的光合性能都优于‘敖汉’苜蓿。本研究结果表明,5 个品种苜蓿整个生育期群体光合速率顺序为:‘胖多’>‘金皇后’>‘WL-323’>‘阿尔冈金’>‘新牧 1 号’(图 2),结合叶分布来看,整个生育期‘胖多’的叶分布更为合理(表 4),同时,结合各品种苜蓿干草产量来看,‘胖多’的产量最高(表 5),说明高产品种的高产性能发挥与高的群体光合速率、合理的冠层结构密切相关。然而,并非所有的高产品种都具有相对较高的群体光合速率,因为作物产量的高低由光合时间、光合面积、光合速率和呼吸速率等影响光合性能的诸多因素综合决定,并非群体光合速率单个因素。各品种苜蓿整个生育期群体光合速率在初花期达到最大(图 2),众所周知,在初花期苜蓿的干草产量和营养品质将达到最佳耦合,而生产中一般也在初花期进行刈割,以确保苜蓿的综合经济效益达到最佳,所以苜蓿干草产量主要是在营养生长期形成,因此,确保在苜蓿营养生长期达到较高并维持较长时间的群体光合速率、形成合理的冠层结构,是苜蓿高产稳产的主要栽培目标之一。

3.3 不同品种苜蓿干草产量构成特征

同一生长年份苜蓿各茬次产量对总干草产量具有重要的影响。研究表明,全年刈割 3 茬的苜蓿不同茬次间干草产量存在显著差异,其中第 1 茬的干草产量最高,占全年总干草产量的 51%,第 2 茬和第 3 茬的干草产量分别占全年总干草产量的 35%和 14%^[30]。本研究结果表明,随苜蓿刈割茬次的增加各品种的干草产量均呈下降趋势,不同品种苜蓿总干草产量排序依次为:‘胖多’>‘金皇后’>‘阿尔冈金’>‘WL-323’>‘新牧 1 号’(表 5),此排序结果在一定程度上可以反映各品种苜蓿的生产经济性能。同时,苜蓿不同茬次的干草产量存在显著性差异,其中第 1 茬干草产

量最高,占全年总干草产量权重的 33.82%~34.88%,其次随刈割次数的增加其干草产量的权重依次递减(表 5),这主要是因为上一年最后一茬刈割在上冻前一个月完成,苜蓿根部积累了一定的地上光合产物,保证本年度第 1 茬苜蓿在返青期的旺盛生长,同时,第 1 茬苜蓿的生长期较长(从返青 3 月 26 日开始计算,共计 60 d),而第 2、3 茬的生长时间都较短(32~35 d),虽然第 4 茬生长时间(45 d)比第 2、3 茬长,但由于秋季温度降低、光照强度减弱及光照时间缩短,导致该茬苜蓿干草产量最低。另外,该年度已经收获了 3 茬,苜蓿根部储存的养分可能已经消耗殆尽,造成第 4 茬苜蓿生长养分供给不足。因此,苜蓿第 1 茬对全年总干草产量的贡献最大,应该做好第 1 茬苜蓿的田间管理工作;苜蓿第 4 茬对全年总产量的贡献最低,但却不能忽视苜蓿第 4 茬的田间管理,因为苜蓿为多年生牧草,最后一茬的生长状况会直接影响苜蓿的越冬性能和来年的产量。

4 结 论

各品种苜蓿群体光合速率日变化均呈单峰曲线,峰值均出现在 13:30,不同苜蓿品种中,‘胖多’的群体光合速率日均值最大,‘阿尔冈金’最小,不同品种苜蓿群体光合均无“午休”现象。苜蓿整个生育期的群体光合速率在初花期达到峰值。整个生育期,‘胖多’的叶分布较为合理,不同苜蓿品种的群体光合速率顺序为:‘胖多’>‘金皇后’>‘WL-323’>‘阿尔冈金’>‘新牧 1 号’。不同苜蓿品种中‘胖多’的总干草产量最高,其次分别为‘阿尔冈金’‘金皇后’‘WL-323’和‘新牧 1 号’。各品种中苜蓿干草产量均为第 1 茬显著大于其他各茬次,且‘胖多’的变异系数明显大于‘阿尔冈金’。综上所述,从群体光合速率、冠层结构、各茬次产量及总干草产量的角度综合考虑,不同苜蓿品种中‘胖多’优于其他各品种,但其生产性能的稳定性较差。因此,在生产中应综合各方面的条件根据具体生产要求及生产实际选择适合本地区种植的苜蓿品种。

参考文献 Reference:

[1] 孙启忠,柳 茜,那 亚,等.我国汉代苜蓿引入者考[J].草业学报,2016,25(1):240-253.
SUN Q ZH,LIU Q,NA Y,*et al.* The history of the introduction of alfalfa to China in the Han dynasty[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016,25(1):240-253(in Chinese with English abstract).

[2] BOUIZGAREN A,FARISSI M,GHOULAM C,*et al.* As-

essment of summer drought tolerance variability in Mediterranean alfalfa (*Medicago sativa* L.) cultivars under Moroccan fields conditions[J]. *Archives of Agronomy and Soil Science*,2013,59(1):147-160.

[3] 张前兵,艾尼娃尔·艾合买提,于 磊,等.绿洲区不同灌溉方式及灌溉量对苜蓿田土壤盐分运移的影响[J].草业学报,2014,23(6):69-77.
ZHANG Q B,Ainiwaer·Aihemaiti,YU L,*et al.* Effects of different irrigation methods and quantities on soil salt transfer in oasis alfalfa field[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2014,23(6):69-77(in Chinese with English abstract).

[4] 鲁为华,于 磊.北疆绿洲区不同苜蓿品种生长规律及产量比较研究[J].新疆农业科学,2006,43(1):16-20.
LU W H,YU L. Study on growth rule and yield of different alfalfa varieties in Xinjiang oasis[J]. *Xinjiang Agricultural Sciences*,2006,43(1):16-20.

[5] 胡守林,万素梅,贾志宽,等.黄土高原半湿润区不同生长年限苜蓿叶片光合性能研究[J].草业学报,2008,17(5):60-67.
HU SH L,WAN S M,JIA ZH K,*et al.* A study on photosynthetic characteristics of alfalfas grown for different lengths of time in the semi-humid region of the Loess Plateau[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2008,17(5):60-67(in Chinese with English abstract).

[6] 朱慧森,杜利霞,韩兆胜,等.偏关苜蓿初花期光合特性及其与环境因子的关系[J].中国草地学报,2015,37(3):43-47.
ZHU H S,DU L X,HAN ZH SH,*et al.* Relationships between environmental factors and the photosynthetic characteristics of *Medicago sativa* cv. Pianguan at early blooming stage[J]. *Chinese Journal of Grassland*,2015,37(3):43-47(in Chinese with English abstract).

[7] 张旺锋.棉花群体光合作用的研究进展[J].新疆农业大学学报,2001,24(增刊):54-59.
ZHANG W F. Research progress of cotton canopy apparent photosynthesis (CAP) [J]. *Journal of Xinjiang Agricultural University*, 2001,24 (Suppl):54-59 (in Chinese with English abstract).

[8] MADDONNI G A,OTEGUI M E,CIRILO A G. Plant population density, row spacing and hybrid effects on maize canopy architecture and light attenuation[J]. *Field Crops Research*,2001,71:183-19.

[9] LONG S P,ZHU X G,NAIDU S L,*et al.* Can improvement in photosynthesis increase crop yields? [J]. *Plant Cell Environment*, 2006,29:315-330.

[10] 冯国艺,罗海海,姚炎帝,等.新疆超高产棉花叶、铃空间分布及与群体光合生产的关系[J].中国农业科学,2012,45(13):2607-2617.
FENG G Y,LUO H H,YAO Y D,*et al.* Spatial distribution of leaf and boll in relation to canopy photosynthesis of super high-yielding cotton in Xinjiang[J]. *Scientia Agricultura Sinica*,2012,45(13):2607-2617(in Chinese with English abstract).

[11] 张文旭.紫花苜蓿荚的光合性能及产物转运、作用机理研究[D].北京:中国农业大学,2014.
ZHANG W X. Study on pod photosynthesis and photosynthate transporting and acting mechanism in alfalfa [D]. Beijing, China Agricultural University, 2014 (in Chinese with English abstract).

[12] 李德锋,李朴芳,马保罗,等.温室盆栽 1 年紫花苜蓿产量和光合速率的变化规律[J].草地学报,2015,23(2):310-315.
LI D F,LI P F,MA B L,*et al.* Photosynthetic character-

- ization of yield variations of alfalfa under greenhouse conditions for first year [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2015, 23(2):310-315(in Chinese with English abstract).
- [13] 寇江涛,康文娟,苗阳阳,等. 外源 2,4-表油菜素内酯对 NaCl 胁迫下紫花苜蓿幼苗光合特性及离子吸收、运输和分配的影响[J]. 草业学报,2016,25(4):91-103.
- KOU J T,KANG W J,MIAO Y Y,*et al.* Effect of exogenous 2,4-epibrassinolide on the uptake,transport,and disputation of ions, and photosynthetic characteristics of *Medicago sativa* seedlings under NaCl stress [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2016,25(4):91-103(in Chinese with English abstract).
- [14] 贾宏涛,赵成义,盛 钰,等. 干旱地区紫花苜蓿光合日变化规律研究[J]. 草业科学,2009,26(7):56-60.
- JIA H T,ZHAO CH Y,SHENG Y,*et al.* Study on diurnal variation of photosynthesis for *Medicago sativa* in arid area[J]. *Pratacultural Science*, 2009,26(7):56-60(in Chinese with English abstract).
- [15] 齐敏兴,刘晓静,张晓磊,等. 不同磷水平对紫花苜蓿光合作作用和根瘤固氮特性的影响[J]. 草地学报,2013,21(3):512-516.
- QI M X,LIU X J,ZHANG X L,*et al.* Effects of different phosphorus levels on photosynthesis and root nodule nitrogen-fixing characteristic of alfalfa[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2013, 21(3):512-516 (in Chinese with English abstract).
- [16] 陶 雪,苏德荣,寇 丹,等. 西北旱区不同灌溉方式对苜蓿光合特性和产草量的影响[J]. 中国草地学报,2015,37(4):35-41.
- TAO X,SU D R,KOU D,*et al.* Effects of irrigation methods on photosynthetic characteristics and yield of alfalfa in arid northwest China[J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2015,37(4):35-41(in Chinese with English abstract).
- [17] 马富裕,张旺锋,李锦辉,等. 棉花群体光合作用测定方法探讨[J]. 石河子大学学报(自然科学版),1998(增刊):46-50.
- MA F Y,ZHANG W F,LI J H,*et al.* The discussion of the measuring method of cotton canopy apparent photosynthesis (CAP) [J]. *Journal of Shihezi University (Natural Science Edition)*, 1998 (Suppl): 46-50 (in Chinese with English abstract).
- [18] 冯国艺,姚炎帝,罗宏海,等. 新疆超高产棉花冠层光分布特征及其与群体光合生产的关系[J]. 应用生态学报,2012,23(5):1286-1294.
- FENG G Y,YAO Y D,LUO H H,*et al.* Canopy light distribution and its correlation with photosynthetic production in super-high yielding cotton fields of Xinjiang,Northwest China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2012,23(5):1286-1294 (in Chinese with English abstract).
- [19] 杜明伟,冯国艺,姚炎帝,等. 杂交棉标杂 A1 和石杂 2 号超高产冠层特性及其与群体光合生产的关系[J]. 作物学报,2009,35(6):1068-1077.
- DU M W,FENG G Y,YAO Y D,*et al.* Canopy characteristics and its correlation with photosynthesis of super high-yielding hybrid cotton Biaoza A1 and Shiza 2[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2009,35(6):1068-1077 (in Chinese with English abstract).
- [20] CONNOR D J,FERERES E A. Dynamic model of crop growth and partitioning of biomass[J]. *Field Crops Research*, 1999,63(2):139-151.
- [21] 李 源,高洪文,王 赞,等. 紫花苜蓿群体冠层结构和产
量性状的研究[J]. 华北农学报,2009,24(S2):190-194.
- LI Y,GAO H W,WANG Z,*et al.* Study on canopy structure of populations and yield characters in alfalfa[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2009, 24 (S2): 190-194 (in Chinese with English abstract).
- [22] 韩清芳,贾志宽,王俊鹏,等. 黄土高原地区紫花苜蓿不同叶位光合日变化特征研究[J]. 草地学报,2009,17(5):558-563.
- HAN Q F,JIA ZH K,WANG J P,*et al.* Study on diurnal photosynthetic characteristics in different alfalfa leaf layers in Loess Plateau[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2009,17(5):558-563(in Chinese with English abstract).
- [23] 冯国艺,干秀霞,杨美森,等. 两个杂交棉 F₁、F₂ 代及亲本冠层结构与物质生产特征[J]. 作物学报,2013,39(9):1635-1643.
- FENG G Y,GAN X X,YANG M S,*et al.* Canopy structure and matter production characteristics of F₁, F₂, and their parents in two cotton hybrids[J]. *Acta Agronomica Sinica*, 2013,39(9):1635-1643 (in Chinese with English abstract).
- [24] 张旺锋,李正河,李蒙春,等. 北疆高产棉花(2 250 kg/hm²)群体光合、呼吸特性及其与产量关系的研究[J]. 石河子大学学报(自然科学版),1998(增刊):71-76.
- ZHANG W F,LI ZH H,LI M CH,*et al.* Studies on the relationship between canopy apparent photosynthesis, canopy respiration and yield in sup-high yield cotton of north Xinjiang[J]. *Journal of Shihezi University (Natural Science Edition)*, 1998 (Suppl): 71-76 (in Chinese with English abstract).
- [25] LOUARN G,FRAK E,ZAKA S,*et al.* An empirical model that uses light attenuation and plant nitrogen status to predict within-canopy nitrogen distribution and upscale photosynthesis from leaf to whole canopy[J]. *AoB Plants*, 2015,7(5):1-16.
- [26] 刘玉华,贾志宽,史纪安,等. 旱作条件下不同苜蓿品种光合作用的日变化[J]. 生态学报,2006,26(5):1468-1477.
- LIU Y H,JIA ZH K,SHI J A,*et al.* Daily dynamics of photosynthesis in alfalfa varieties under dry farming conditions[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2006,26(5):1468-1477 (in Chinese with English abstract).
- [27] 南志标,李春杰,王赞文,等. 苜蓿褐斑病对牧草质量光合速率的影响及田间抗病性[J]. 草业学报,2001,10(1):26-34.
- NAN ZH B,LI CH J,WANG Y W,*et al.* Lucerne common leaf spot; forage quality, photosynthesis rate and field resistance[J]. *Acta Prataculture Sinica*, 2001,10(1):26-34 (in Chinese with English abstract).
- [28] 万素梅,贾志宽,杨宝平. 苜蓿光合速率日变化及其与环境因子的关系[J]. 草地学报,2009,17(1):27-31.
- WAN S M,JIA ZH K,YANG B P. Relationship between diurnal changes of alfalfa net photosynthetic rate and environmental factors[J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2009,17(1):27-31(in Chinese with English abstract).
- [29] 吕小东,王建光,孙启忠. 半干旱地区引种 11 个国外苜蓿品种的光合性能研究[J]. 内蒙古草业,2013,25(1):28-31.
- LÜ X D,WANG J G,SUN Q ZH. Study on photosynthetic characteristics of 11 introduced alfalfa varieties in semi-arid region[J]. *Inner Mongolia Prataculture*, 2013,25(1):28-31(in Chinese with English abstract).
- [30] 韩清芳. 不同苜蓿(*Medicago sativa*)品种抗逆性、生产性能及品质特性研究[D]. 陕西杨凌:西北农林科技大学,

2003.
HAN Q F. Study and evaluation on resistances, produc-
tion and quality characteristics of different alfalfa (*Medi-*

cago sativa) varieties [D]. Yangling Shaanxi; Northwest
Sci-Tech University of Agriculture and Forestry, 2003 (in
Chinese with English abstract).

Canopy Apparent Photosynthetic Characteristics of Five Alfalfa Varieties

ZHANG Qianbing^{1,2}, LI Yanxia¹, YU Lei^{1,2}, LU Weihua^{1,2} and MA Chunhui¹

(1. The College of Animal Science & Technology, Shihezi University, Shihezi Xinjiang 832003, China;
2. Key Laboratory of Oasis Ecology Agriculture of Xinjiang Production and Construction Groups, Shihezi Xinjiang 832003, China)

Abstract To explore the characteristics of canopy photosynthesis production of different alfalfa varieties in oasis, five alfalfa varieties were chosen, and canopy radiation transmission coefficient and canopy apparent photosynthetic were measured and analyzed in the second growth year of alfalfa. The results showed that, with the growth and development of alfalfa plant, the transmission coefficient of diffuse penetration (TCDP) and transmission coefficient of radiation penetration (TCRP) of different alfalfa varieties showed a downward trend, and TCDP decreased by 31.6%—55.7% from the early branching stage to the beginning stage of flowering, and TCRP showed a downward trend from zenith angle 7.5°—67.5°. Diurnal variation of photosynthetic rate of ‘alfalfa’ population photosynthetic rate showed a single peak curve, without midday depression. The peak of canopy apparent photosynthetic rate of different alfalfa varieties occurred at 13:30, and the biggest daily mean value of canopy apparent photosynthesis rate was 3.39 g·m⁻²·h⁻¹ detected in ‘Pangduo’, and the lowest value was 2.85 g·m⁻²·h⁻¹ detected in Algonquin. The canopy photosynthetic rate of different alfalfa varieties reached the peak, more than 4.0 g·m⁻²·h⁻¹, in the early flowering period. The order of canopy apparent photosynthetic rate of different alfalfa varieties was ‘Pangduo’ > ‘Golden Empress’ > ‘WL-323’ > ‘Algonquin’ > ‘Xinmu No. 1’. The hey yield of first cut of different alfalfa varieties was the highest during the whole growth period, accounted for 15.81%—16.51% of total mass, and the fourth cut was the lowest, accounted for 33.82%—34.88% of total mass. ‘Pangduo’ had the highest total hay yield for 22 997 kg·hm⁻², then followed by ‘Algonquin’, ‘Golden Empress’, ‘WL-323’, and ‘Xinmu No. 1’, respectively. Considering canopy apparent photosynthetic rate and hay yield, ‘Pangduo’ was better than the other four varieties, even though it had poor stability of production performance.

Key words Alfalfa; Canopy apparent photosynthesis; Radiation transmission coefficient; Leaf distribution; Drip irrigation; Oasis

Received 2016-12-11 **Returned** 2017-01-20

Foundation item The National Natural Science Foundation of China (No. 31660693); the Project Funded by China Postdoctoral Science Foundation(No. 2017M613252); the Youth Innovation Talent Cultivation Program of Shihezi University(No. CXRC201605); Corps Agricultural Technology Promotion Project(No. CZ0021); the Corps Doctor Special Fund(No. 2012BB017); the National Grass Industry Technology System Project(No. CARS-35).

First author ZHANG Qianbing, male, Ph. D, associate professor. Research area: efficient production of artificial grassland. E-mail: qbz102@163.com