

# 拔节期弱光胁迫对扬麦 15 麦秸营养成分和体外发酵的影响

何香玉 李袁飞 成艳芬\* 朱伟云

(南京农业大学动物科技学院消化道微生物实验室,南京 210095)

**摘要:** 本试验旨在研究拔节期弱光胁迫对扬麦 15 麦秸营养成分和体外发酵的影响。试验以弱筋小麦扬麦 15 为材料,在拔节期进行 3 个遮阴水平(0、50%、66%)和 3 个遮阴时间(2、4、8 d)的处理,小麦成熟收割时取麦秸进行营养成分分析并评定其体外降解率。结果表明:1)与 0 组相比,遮阴 50%组和 66%组显著降低了麦秸粗蛋白质含量( $P<0.05$ ),遮阴时间以及遮阴水平与遮阴时间交互作用对麦秸营养成分的影响均不显著( $P>0.05$ )。2)与 0 组相比,遮阴 50%组和 66%组显著降低麦秸干物质和中性洗涤纤维体外降解率( $P<0.05$ ),遮阴时间以及遮阴水平与遮阴时间交互作用对营养物质体外降解率的影响均不显著( $P>0.05$ )。遮阴水平与遮阴时间的增加均降低了麦秸体外发酵产气量。遮阴时间的增加显著降低了总挥发性脂肪酸的产量( $P<0.05$ ),遮阴水平与遮阴时间的增加均显著降低了乙酸产量( $P<0.05$ ),且影响有交互作用( $P<0.05$ ),但对丙酸、丁酸产量和乙酸/丙酸无显著影响( $P>0.05$ )。结果提示,拔节期遮阴处理降低了麦秸粗蛋白质含量、干物质和中性洗涤纤维体外降解率、产气量、总挥发性脂肪酸与乙酸产量,但对乙酸/丙酸没有影响;遮阴效果随时间与水平增加而增加。

**关键词:** 麦秸;遮阴;营养成分;体外发酵;降解率

**中图分类号:** S816.5

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1006-267X(2015)10-3163-07

光是影响植物生存、生长及更新的最重要的环境因子,是植物生长的能量来源<sup>[1]</sup>。随着全球气候变化,发生的阴雨寡照逆境灾害天气事件频率也日益增多<sup>[2]</sup>,同时小麦是一种喜光作物,对光照条件极为敏感,光照强度、长度的变化势必影响小麦体内碳氮代谢等的一系列生理活动<sup>[3]</sup>,从而影响到麦秸的品质和产量。小麦作为我国第 3 大粮食作物,年产量 1 亿多 t,同时年产麦秸达 1.5 亿 t<sup>[4]</sup>,其中约 31%用于反刍动物饲料,约 15%作为肥料还田,还有约 31%无处理途径,在田间燃烧或堆积,造成环境污染,同时堆积的麦秸也可能引发火灾<sup>[4]</sup>。农作物秸秆是我国草食家畜十分重要的粗饲料来源,反刍动物的瘤胃中含有大量的

厌氧微生物,可以将动物消化道不易分解的成分(如纤维素、半纤维素等)降解成挥发性脂肪酸(VFA)、氨氮等营养物质供宿主利用<sup>[5]</sup>。据测算,1 t 普通秸秆的营养价值平均与 0.25 t 粮食的营养价值相当<sup>[4]</sup>。那么将更多的秸秆用于饲料是一种有效利用途径,既可弥补草食动物在枯草季节饲草供应的不足,又能减少焚烧带来的环境污染<sup>[6]</sup>。由于拔节期是小麦茎叶生长的重要时期,弱光胁迫对其生长发育有不利的影 响,在麦秸上的研究较少。因此,本试验旨在利用遮阴模拟弱光逆境,以弱筋小麦扬麦 15 为研究对象,探讨拔节期弱光胁迫对麦秸营养成分的影响,并通过体外发酵技术评价弱光胁迫对麦秸降解率的影响,为评价弱

收稿日期:2015-04-09

基金项目:公益性行业(农业)科研专项(200903003)

作者简介:何香玉(1989—),女,四川成都人,硕士研究生,从事消化道微生物研究。E-mail: 2012105077@njau.edu.cn

\* 通信作者:成艳芬,副教授,硕士生导师,E-mail: yanfencheng@njau.edu.cn

光逆境下小麦秸秆营养成分及其降解率提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

#### 1.1.1 小麦种植与麦秸采集

以弱筋小麦扬麦 15 为材料,于 2010 年 11 至 2011 年 6 月在江苏省农业科学院作物所试验地种植,在拔节期进行 3 个遮阴水平(0、50%、66%)和 3 个遮阴时间(2、4、8 d)的处理。采用裂区设计,主区为遮阴水平,裂区为遮阴时间,每个处理设 3 个重复,每个重复小区面积  $2.5\text{ m}\times 4.0\text{ m}$ 。采用不同密度的黑色尼龙遮阳网进行不同遮阴水平处理。遮阳网距地面 2 m,以保证良好的通风条件,消除温差。小麦成熟收获麦秸,65℃烘干,粉碎后过 20 目及 28 目双层筛,取中间粉料做试验底物,室温保存于样品袋中备用。

#### 1.1.2 瘤胃液采集及培养液配制

瘤胃液取自南京农业大学动物房 4 头装有永久性瘤胃瘘管的健康成年去势波尔山羊。试验当日晨饲后 2 h 采集瘤胃液,保存于 39℃预热并充满二氧化碳的塑料瓶内,迅速带回实验室,在厌氧条件下经 4 层纱布过滤后与 5 倍体积培养液<sup>[7]</sup>充分混合,60 mL/瓶分装至含 1 g 麦秸的发酵瓶中,橡胶塞及铝盖封口后 39℃静置培养 72 h。

### 1.2 测定指标与测定方法

#### 1.2.1 常规营养成分分析

按张丽英<sup>[8]</sup>的方法测定试验样品中干物质(DM)、有机物(OM)、粗蛋白质(CP)、粗脂肪(EE)和粗灰分(ash)含量,采用 Van Soest 等<sup>[9]</sup>方法测定中性洗涤纤维(NDF)及酸性洗涤纤维(ADF)含量并计算中性洗涤可溶物(NDS)含量。根据马艳艳等<sup>[10]</sup>方法计算底物干物质体外降解率(*in vitro* disappearance rate of DM, IVDMD)、中性洗涤纤维体外降解率(*in vitro* disappearance rate of NDF, IVNDFD)和酸性洗涤纤维体外降解率(*in vitro* disappearance rate of ADF, IVDADF)。

#### 1.2.2 发酵指标测定

发酵过程中参照 Theodorou 等<sup>[11]</sup>和朱伟云等<sup>[12]</sup>方法测定动态产气量,于 72 h 结束发酵并测

定发酵上清液 pH,参照秦为琳<sup>[13]</sup>气相色谱方法测定 VFA 产量。

### 1.3 数据分析

各试验数据经 Excel 2010 初步整理后,利用 SPSS 17.0 统计软件进行 Multivariate 方法进行方差分析,主效应分别是遮阴水平和遮阴时间,Duncan 氏法进行多重比较。试验结果以平均值 $\pm$ 标准误(mean $\pm$ SEM)表示,以  $P<0.05$  表示差异显著。

## 2 结果与分析

### 2.1 遮阴水平和遮阴时间对麦秸营养成分的影响

由表 1 可知,随遮阴水平增加,粗蛋白质含量呈先降低后升高的趋势;与 0 组相比,遮阴 50%组的粗蛋白质含量显著降低( $P<0.05$ );遮阴时间对营养成分没有显著影响( $P>0.05$ );遮阴水平与遮阴时间对麦秸营养成分的影响没有交互作用( $P>0.05$ )。

### 2.2 遮阴水平和遮阴时间对麦秸体外降解率的影响

由表 2 可知,随遮阴水平增加 IVDMD 和 IVNDFD 呈逐渐降低趋势,与 0 组相比,遮阴 50%组与 66%组显著降低了麦秸的 IVDMD 和 IVNDFD( $P<0.05$ ),遮阴 50%组与 66%组差异不显著( $P>0.05$ );遮阴时间对营养物质体外降解率没有显著影响( $P>0.05$ );同时遮阴水平与遮阴时间的影响也没有交互作用( $P>0.05$ )。

### 2.3 遮阴水平和遮阴时间对麦秸体外发酵产气量的影响

由图 1 可知,各组体外发酵产气量变化趋势基本一致,发酵 0~12 h 产气量增加较少,12~72 h 间产气量缓慢增加。发酵结束时,0 组最高,为  $(113.46\pm 0.83)\text{ mL}$ ;其次为遮阴 2 d 的,2 d 66%组和 2 d 55%组分别为  $(111.89\pm 0.54)\text{ mL}$  和  $(110.29\pm 0.33)\text{ mL}$ ;再次为遮阴 4 d 的,4 d 66%组和 4 d 55%组分别为  $(102.36\pm 2.17)\text{ mL}$  和  $(101.63\pm 0.29)\text{ mL}$ ,遮阴 8 d 的最低,8 d 66%组和 8 d 55%组分别为  $(94.09\pm 1.60)\text{ mL}$  和  $(93.49\pm 0.95)\text{ mL}$ 。方差分析结果显示,遮阴水平与遮阴时间对麦秸体外发酵 72 h 累积产气量有显著影响( $P<0.05$ ),且遮阴水平与遮阴时间存在交互作用( $P<0.05$ )。

表 1 遮阴对麦秸营养成分的影响

Table 1 Effects of level and time of shading on nutrient composition of wheat straw

%

项目 Items		干物质 DM	粗蛋白质 CP	粗脂肪 EE	粗灰分 Ash	中性洗 涤纤维 NDF	酸性洗 涤纤维 ADF	中性洗涤 可溶物 NDS
遮阴水平 Shading level/%	0	92.51±0.13	4.92±0.04 <sup>a</sup>	0.95±0.15	6.07±0.06	78.37±1.05	48.36±0.90	21.63±1.05 <sup>a</sup>
	50	92.51±0.47	4.22±0.31 <sup>b</sup>	1.20±0.11	6.33±0.45	80.00±0.50	48.67±0.34	20.00±0.50 <sup>b</sup>
	66	92.55±0.31	5.15±0.32 <sup>a</sup>	1.13±0.12	5.34±0.58	79.33±0.83	47.68±0.72	20.67±0.83 <sup>ab</sup>
遮阴时间 Shading time/d	2	92.47±0.12	4.87±0.50	1.12±0.10	6.59±0.34	78.66±0.29	48.07±0.29	21.34±0.29
	4	92.99±0.26	4.63±0.40	1.10±0.13	5.53±0.47	78.94±0.44	48.08±0.82	21.06±0.44
	8	92.12±0.20	4.79±0.09	1.07±0.12	5.62±0.35	80.10±0.87	48.56±0.23	19.90±0.87
P 值 P-value								
遮阴水平 Shading level		0.997	<0.050	0.222	0.177	0.090	0.394	0.090
遮阴时间 Shading time		0.177	0.739	0.941	0.111	0.121	0.746	0.121
遮阴水平×遮阴时间 Shading level×shading time		0.656	0.180	0.308	0.617	0.580	0.409	0.580

表中同一主效应因子、同列数据相同或无字母肩标表示差异不显著 ( $P>0.05$ ), 不同小写字母肩标表示差异显著 ( $P<0.05$ )。下表同。

In the same column, values of the same main effector with no letter or the same letter superscripts mean no significant difference ( $P>0.05$ ), while with different small letter superscripts mean significant difference ( $P<0.05$ ). The same as below.

表 2 遮阴水平和遮阴时间对麦秸体外降解率的影响

Table 2 Effects of level and time of shading on *in vitro* disappearance rate of wheat straw

项目 Items		干物质体外降解率 IVDM	中性洗涤纤维体外降解率 IVNDF	酸性洗涤纤维体外降解率 IVADF
遮阴水平 Shading level/%	0	32.45±0.93 <sup>a</sup>	34.71±1.38 <sup>a</sup>	25.69±2.62
	50	30.73±0.44 <sup>b</sup>	31.43±0.17 <sup>b</sup>	25.82±0.45
	66	29.92±0.23 <sup>b</sup>	30.83±0.90 <sup>b</sup>	24.20±0.28
遮阴时间 Shading time/d	2	31.32±0.68	32.90±0.96	25.64±0.59
	4	31.16±0.67	31.76±1.55	25.26±0.46
	8	30.61±0.93	32.31±1.25	24.81±0.60
P 值 P-value				
遮阴水平 Shading level		<0.050	<0.050	0.584
遮阴时间 Shading time		0.556	0.422	0.889
遮阴水平×遮阴时间 Shading level×shading time		0.923	0.585	0.997

### 2.4 遮阴水平和遮阴时间对麦秸体外发酵指标的影响

麦秸体外发酵液 pH 处于 6.26~6.32 之间。由表 3 可知,随着遮阴水平增加,乙酸产量呈逐渐降低趋势,与 0 组相比,遮阴 50%组与 66%组显著降低了乙酸产量 ( $P<0.05$ ),遮阴 50%组与 66%组对差异不显著 ( $P>0.05$ )。随遮阴时间增加,总挥发性脂肪酸 (TVFA) 和乙酸产量呈逐渐降低趋势,

与遮阴 2 和 4 d 组相比,遮阴 8 d 组显著降低麦秸体外发酵 TVFA 和乙酸产量 ( $P<0.05$ ),遮阴 2 d 组乙酸产量显著高于遮阴 4 d 组 ( $P<0.05$ )。遮阴时间显著影响麦秸体外发酵乙酸和 TVFA 产量 ( $P<0.05$ ),遮阴水平显著影响乙酸产量 ( $P<0.05$ );遮阴水平和遮阴时间对乙酸产量的影响有交互作用 ( $P<0.05$ )。

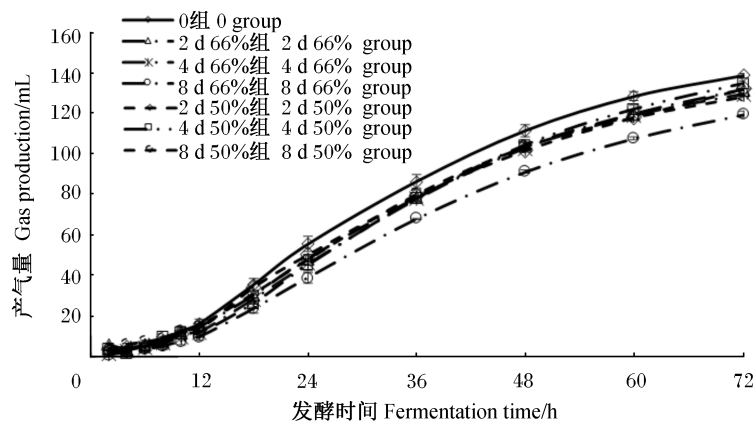


图 1 遮阴水平和遮阴时间对麦秸体外发酵产气量的影响

Fig.1 Effects of level and time of shading on gas production *in vitro* of wheat straw

表 3 遮阴水平和遮阴时间对麦秸体外发酵指标的影响

Table 3 Effects of level and time of shading on *in vitro* fermentation indices of wheat straw

项目 Items		总挥发性脂肪酸 TVFA/ (mmol/L)	乙酸 Acetate/ (mmol/L)	丙酸 Propionate/ (mmol/L)	丁酸 Butyrate/ (mmol/L)	乙酸/丙酸 Acetate/ propionate
遮阴水平 Shading level/%	0	49.25±1.56	29.56±0.88 <sup>a</sup>	13.29±0.28	4.40±0.18	2.22±0.04
	50	46.58±2.40	27.77±2.13 <sup>b</sup>	13.09±0.36	4.60±0.04	2.10±0.16
	66	45.79±2.77	27.54±2.15 <sup>b</sup>	12.69±0.35	4.66±0.25	2.10±0.12
遮阴时间 Shading time/d	2	49.61±0.19 <sup>a</sup>	30.03±0.39 <sup>a</sup>	13.17±0.11	4.68±0.17	2.31±0.05
	4	48.15±0.59 <sup>a</sup>	28.24±0.67 <sup>b</sup>	13.27±0.30	4.60±0.12	2.16±0.08
	8	45.19±2.73 <sup>b</sup>	26.61±2.21 <sup>c</sup>	12.64±0.36	4.37±0.10	2.01±0.14
<i>P</i> 值 <i>P</i> -value						
遮阴水平 Shading level		0.088	<0.050	0.491	0.361	0.335
遮阴时间 Shading time		<0.050	<0.050	0.426	0.236	0.067
遮阴水平×遮阴时间 Shading level×shading time		0.169	<0.050	0.714	0.420	0.174

3 讨 论

3.1 弱光胁迫对麦秸营养成分的影响

弱光胁迫对作物生长的影响大多数采用遮阴处理来实现。王一等<sup>[14]</sup>研究不同生育时期遮阴对大豆形态形状和产量的影响发现,遮阴会导致大豆平均分枝数比对照组降低 29.97%,而分枝数和单株产量呈极显著正相关,从而导致大豆产量显著降低。李初英等<sup>[15]</sup>对研究不同遮光胁迫对大豆产量性状及产量影响的研究也得到了类似的结果,大豆的茎粗和分枝数均显著降低。蔡昆争等<sup>[16]</sup>研究遮阴对水稻的影响发现,拔节期遮阴能显著增加水稻株高,显著减少其分蘖数,从而减弱叶片中的碳氮代谢,但是遮阴对成熟期水稻的影

响较小。但遮阴对作物秸秆营养成分的影响尚不清楚,本研究结果表明,除粗蛋白质含量外,遮阴水平与遮阴时间对麦秸营养成分含量影响不显著。但遮阴水平能显著影响小麦秸粗蛋白质含量,遮阴 50%组粗蛋白质含量显著降低,而随着遮阴水平增加,粗蛋白质含量又显著增加,因此遮阴水平对小麦秸粗蛋白质含量的影响呈现先降低后增加的趋势。遮阴 50%组小麦秸粗蛋白质含量降低可能是由于遮阴处理降低了小麦叶片的光合速率,使拔节期小麦的茎粗和分枝数均减少,叶片数量相对降低,从而降低了其粗蛋白质含量<sup>[17-18]</sup>。杨东等<sup>[19]</sup>研究弱光对不同生育期超级稻优航 2 号的影响也发现,拔节期弱光胁迫降低了茎鞘物质的积累与株高,从而降低了叶片数量,使其作物秸



秆中蛋白质含量降低。本研究还发现遮阴 66% 组和 50% 组相比粗蛋白质含量显著升高,这可能是由于随着遮阴水平进一步增加,小麦营养器官(叶片和茎)转运到籽粒中的干物质含量降低,从而使未被转运的干物质在营养器官中积累,导致其营养成分含量升高。牟会荣等<sup>[20]</sup>研究遮阴对小麦植株氮素转运及品质的影响发现,拔节期至成熟期遮阴显著降低了各营养器官贮存氮素的转运量,从而降低了其对籽粒氮素的贡献率。任万军等<sup>[21]</sup>研究弱光对杂交稻氮素积累、分配与籽粒蛋白质含量的影响发现,弱光改变杂交稻氮素在各器官中的分配比例,使叶片和茎鞘的氮素增加,分配到穗部的减少。Grashoff 等<sup>[22]</sup>研究遮阴对春大麦产量、氮素和可溶性碳水化合物的影响发现,遮阴延缓叶片的衰老,同时使营养器官转运到籽粒中氮素和碳水化合物降低。

### 3.2 弱光胁迫对麦秸体外发酵的影响

干物质的降解率反映了底物在发酵体系中被微生物降解的程度,也是瘤胃发酵中粗饲料利用率的重要指标<sup>[23]</sup>。本试验结果表明,遮阴处理显著降低了麦秸 IVDMD 和 IVNDFD。这可能是由于遮阴处理降低麦秸非结构性碳水化合物的含量,从而导致其可消化有机质含量降低,使其不易被瘤胃微生物降解利用。虽然本研究中遮阴处理对麦秸 NDS 含量没有显著影响,但麦秸中 NDS 含量有降低趋势。余苗等<sup>[24]</sup>对不同生育期虎尾草的研究表明:虎尾草的 IVDMD 和 NDS 含量呈显著的正相关关系,NDS 含量越低,IVDMD 就越低,反之,则越高。前人对不同刈割茬次苜蓿的研究中也得到了类似的结论,第 2 茬苜蓿由于其 NDF 含量升高及 NDS 含量降低,导致其苜蓿 IVDMD 和 IVNDFD 降低<sup>[25]</sup>。马艳艳等<sup>[26]</sup>研究也显示,稻草经过复合碱处理以后,提高了粗蛋白质和可溶性碳水化合物的含量,从而提高了 IVDMD。

反刍动物所采食的饲料在瘤胃微生物降解和消化作用下可以产生大量的二氧化碳、甲烷、氢气等气体,因而气体产出的高低一方面取决于饲料可发酵成分的含量,另一方面取决于微生物的降解能力<sup>[27]</sup>。本研究中,0~12 h 产气量增加较少,12~72 h 产气量缓慢增加并逐渐平缓,可能是由于本试验所用麦秸中可快速发酵的成分含量较低,纤维类成分含量较高,纤维降解与营养成分释放是一个缓慢进行的过程,因此发酵速度比较缓慢。

本研究结果显示,遮阴能显著降低麦秸体外发酵累积产气量,这可能与麦秸中粗蛋白质含量及可溶性碳水化合物含量有关。有研究报道,不同类型的牧草作为底物体外发酵时,其产气量及理论最大产气量主要受可溶性碳水化合物比例的影响<sup>[28]</sup>。而 Nsahlai 等<sup>[29]</sup>在豆科田菁属牧草的研究中发现,理论最大产气量与粗蛋白质含量间呈正相关关系。另外也有研究报道,体外发酵累积产气量与底物粗蛋白质和可溶性碳水化合物的比例有关,当粗蛋白质和可溶性碳水化合物的比例越大,理论最大产气量就越高,反之,比例越小时,理论产气量就越低<sup>[30]</sup>。

反刍动物瘤胃微生物将饲料中的营养物质发酵产生的 VFA 是动物和微生物维持和生长的重要能量来源,其产量和组成反映了瘤胃微生物的发酵模式<sup>[31]</sup>。Dubuc 等<sup>[32]</sup>研究发现,瘤胃发酵产生的 VFA 可满足 1 d 内奶牛所需能量的 60%~70%。本研究中遮阴处理显著降低了发酵液乙酸产量,从而降低了 TVFA 产量。而乙酸产量主要来自于底物纤维或者粗饲料的发酵降解,这与 IVDMD、IVNDFD 及产气量降低一致,遮阴导致小麦秸可降解消化的营养物质含量降低,从而导致其体外降解率降低、累积产气量降低,同时乙酸产量降低。Tang 等<sup>[33]</sup>对不同成熟阶段玉米秸秆的研究发现,粗纤维含量与产气量和 VFA 产量呈负相关,粗纤维含量越高营养价值越低,导致产气量和 VFA 的产量降低。Kumar 等<sup>[34]</sup>对几种水牛饲料的研究中发现,棉籽饼粕型饲料由于粗纤维含量高,与豆粕型饲料相比,其 TVFA 和乙酸的产量显著降低。

## 4 结 论

拔节期遮阴处理降低了麦秸粗蛋白质含量、IVDMD 和 IVNDFD、产气量、TVFA 与乙酸产量,但对乙酸/丙酸没有影响;遮阴效果随时间与水平增加而增加。

### 参考文献:

- [1] 刘建锋,杨文娟,江泽平,等.遮阴对濒危植物崖柏光合作和叶绿素荧光参数的影响[J].生态学报,2011,31(20):5999-6004.
- [2] 顾蕴倩,刘雪,张巍,等.灌浆期弱光逆境对小麦生长和产量影响的模拟模型[J].中国农业科学,2013,

- 46(5):898-908.
- [3] 郭翠花,高志强,苗果园.花后遮阴对小麦旗叶光合特性及籽粒产量和品质的影响[J].作物学报,2010,36(4):673-679.
- [4] 中华人民共和国农业部.全国农作物秸秆资源调查与评价报告[J].农业工程技术:新能源产业,2011(2):3-5.
- [5] 朱伟云.瘤胃微生物[M]//冯仰廉.反刍动物营养学.北京:科学出版社,2004:66-69.
- [6] 冯丽肖,杜雄,张立峰.华北农牧交错带畜牧业外部经济效应解析[J].草业学报,2009,18(2):155-162.
- [7] MEHREZ A Z, ØRSKOV E R. A study of artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen[J]. The Journal of Agricultural Science, 1977, 88(3):645-650.
- [8] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 2版. 北京:中国农业大学出版社,2003:45-75.
- [9] VAN SOEST P J, ROBERTSON J B, LEWIS B A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and non-starch polysaccharides in relation to animal nutrition[J]. Journal of Dairy Science, 1991, 74(10):3583-3597.
- [10] 马艳艳,成艳芬,朱伟云.体外发酵法评价不同产地、不同茬次苜蓿的营养价值[J].动物营养学报,2014,26(8):2421-2432.
- [11] THEODOROU M K, WILLIAMS B A, DHANOA M S, et al. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds[J]. Animal Feed Science and Technology, 1994, 48(3/4):185-197.
- [12] 朱伟云,毛胜勇,王全军,等.厌氧真菌体外发酵筛选技术的研究[J].南京农业大学学报,2001,24(3):44-48.
- [13] 秦为琳.应用气相色谱测定瘤胃挥发性脂肪酸方法的研究改进[J].南京农业大学学报,1982(4):110-116.
- [14] 王一,杨文钰,张霞,等.不同生育时期遮阴对大豆形态性状和产量的影响[J].作物学报,2013,39(10):1871-1879.
- [15] 李初英,孙祖东,陈怀珠,等.不同遮光胁迫对大豆产量性状及产量的影响[J].大豆科学,2006,25(3):294-298.
- [16] 蔡昆争,骆世明.不同生育期遮光对水稻生长发育和产量形成的影响[J].应用生态学报,1999,10(2):193-196.
- [17] 贾士芳,董树亭,王空军,等.弱光胁迫对玉米产量及光合特性的影响[J].应用生态学报,2008,18(11):2456-2461.
- [18] 张吉旺,董树亭,王空军,等.遮阴对夏玉米产量及生长发育的影响[J].应用生态学报,2006,17(4):657-662.
- [19] 杨东,段留生,谢华安,等.不同生育期弱光对超级稻Ⅱ优航2号产量及品质的影响[J].福建农业学报,2013,28(2):107-112.
- [20] 牟会荣,姜东,戴廷波,等.遮光对小麦植株氮素转运及品质的影响[J].应用生态学报,2010,21(7):1718-1724.
- [21] 任万军,杨文钰,张国珍,等.弱光对杂交稻氮素积累、分配与子粒蛋白质含量的影响[J].植物营养与肥料学报,2003,9(3):288-293.
- [22] GRASHOFF C, D'ANTUONO L F. Effect of shading and nitrogen application on yield, grain size distribution and concentrations of nitrogen and water soluble carbohydrates in malting spring barley (*Hordeum vulgare* L.) [J]. European Journal of Agronomy, 1997, 6(3/4):275-293.
- [23] 王祚,周传社,汤少勋,等.两种酵母对奶牛瘤胃体外发酵特性的影响[J].农业现代化研究,2014,35(2):218-224.
- [24] 余苗,钟荣珍,周道玮,等.不同生育期虎尾草的体外发酵产气特性[J].草业科学,2014,31(5):956-964.
- [25] 何香玉,马艳艳,成艳芬,等.体外发酵法评定不同茬次和生长年限苜蓿的营养价值[J].动物营养学报,2015,27(3):978-988.
- [26] 马艳艳,李袁飞,成艳芬,等.不同化学处理对稻草体外发酵动态变化的影响[J].草业学报,2014,23(3):350-355.
- [27] 冯仰廉.反刍动物营养学[M].北京:科学出版社,2004:218-349.
- [28] 汤少勋,姜海林,周传社,等.不同牧草品种对体外发酵产气特性的影响[J].草业学报,2005,14(3):72-77.
- [29] NSAHLAI I V, SIAW D, OSUJI P O. The relationships between gas production and chemical composition of 23 browses of the genus *Sesbania* [J]. Journal of the Science of Food and Agriculture, 1994, 65(1):13-20.
- [30] TAN Z L, LU D X, HU M, et al. Effect of dietary structural to nonstructural carbohydrate ratio on rumen degradability and digestibility of fiber fractions of wheat straw in sheep [J]. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences, 2002, 15(11):1591-1598.

- [31] MAO H L, WANG J K, ZHOU Y Y, et al. Effects of addition of tea saponins and soybean oil on methane production, fermentation and microbial population in the rumen of growing lambs [J]. *Livestock Science*, 2010, 129(1/2/3): 56–62.
- [32] DUBUC J, DUTREMBLAY D, BARIL J, et al. A field study on the effects of dietary monensin on milk production and milk composition in dairy cows [J]. *The Canadian Veterinary Journal*, 2010, 51(4): 375–379.
- [33] TANG S X, TAN Z, ZHOU C, et al. A comparison of *in vitro* fermentation characteristics of different botanical fractions of mature maize stover [J]. *Journal of Animal and Feed Sciences*, 2006, 15(3): 505–515.
- [34] KUMAR R, KAMRA D N, AGARWAL N, et al. *In vitro* methanogenesis and fermentation of feeds containing oil seed cakes with rumen liquor of buffalo [J]. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 2007, 20(8): 1196–1200.

## Effects of Shading in Filling Stage on Nutrient Composition and *in Vitro* Fermentation of Yangmai 15 Wheat Straw

HE Xiangyu LI Yuanfei CHENG Yanfen\* ZHU Weiyun

(Laboratory of Gastrointestinal Microbiology, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

**Abstract:** This study was conducted to investigate the effects of shading in filling stage on nutrient composition and *in vitro* fermentation of Yangmai 15 wheat straw. Yangmai 15 wheat straw was used as experimental material, and shading treatments were set as three shading levels (0, 50% and 66%) and three shading time (2, 4 and 8 d). The nutrient composition and *in vitro* disappearance rate of wheat straw were measured after harvested. The results showed as follows: 1) compared with 0 group, crude protein content in shading groups of 50% and 66% was significantly decreased ( $P < 0.05$ ). There were no significant effects of shading time and the interaction of level and time of shading on nutrient composition of wheat straw ( $P > 0.05$ ). 2) compared with 0 group, *in vitro* disappearance rates of dry matter and neutral detergent fiber in shading groups of 50% and 66% were significantly decreased ( $P < 0.05$ ). There were no significant effects of shading time and the interaction of level and time of shading on *in vitro* disappearance rates of nutrients of wheat straw ( $P > 0.05$ ). Gas production was decreased by treatments of level and time of shading. Total volatile fatty acid (TVFA) yield was significantly decreased with the increase of shading time, acetate yield was significantly decreased with the increase of shading level and time ( $P < 0.05$ ), and there was significant interaction of shading level and time ( $P < 0.05$ ), however, propionate and butyrate yield, and acetate/propionate were not affected ( $P > 0.05$ ). In conclusion, with shading treatment, crude protein content, *in vitro* disappearance rates of dry matter and neutral detergent fiber, gas production, TVFA and acetate yield can be decreased, but acetate/propionate will not be affected; the effects enhanced with the increase of level and time of shading. [*Chinese Journal of Animal Nutrition*, 2015, 27(10): 3163–3169]

**Key words:** wheat straw; shading; nutrient composition; *in vitro* fermentation; disappearance rate

\* Corresponding author, associate professor, E-mail: yanfencheng@njau.edu.cn

