

# 追施氮肥对饲用燕麦品种叶片生长 及光合特性的影响

王鑫<sup>1</sup>, 张玉霞<sup>1</sup>, 鲍青龙<sup>2</sup>, 张庆昕<sup>1</sup>, 郭园<sup>1</sup>, 斯日古楞<sup>1</sup>, 丛百明<sup>3</sup>

(1. 内蒙古民族大学, 内蒙古 通辽 028041; 2. 赤峰市草原工作站, 内蒙古 赤峰 024000;  
3. 通辽市畜牧兽医科学研究所, 内蒙古 通辽 028000)

**摘要:**为探究不同饲用燕麦品种对施氮量的响应差异及光合生理机制,在科尔沁沙地选择燕王、牧王、甜燕1号和牧乐思4个主栽饲用燕麦品种,于燕麦的分蘖期、拔节期、抽穗期、开花期按照15%、40%、25%、20%比例,对燕麦追施0(CK),100,200,300 kg/hm<sup>2</sup>氮肥(纯N),灌浆期测定叶面积和光合参数指标,成熟期测定产量。结果表明:追施氮肥可显著增加饲用燕麦品种的产量,随着施肥量的增加,燕王与牧王产量分别呈现先升高后降低的变化趋势,甜燕1号与牧乐思呈现逐渐升高的变化趋势,与N<sub>0</sub>处理相比,在N<sub>200</sub>氮素水平下燕王和牧王产量提高61.43%和54.23%,在N<sub>300</sub>处理下甜燕1号和牧乐思产量提高65.53%和76.89%;增施氮肥显著促进旗叶、倒二叶、倒三叶叶片生长( $P < 0.05$ ),随着施肥量的增加,燕王与牧王叶面积呈现先增加后降低的变化趋势,在N<sub>200</sub>处理下叶面积达到最大值,甜燕1号与牧乐思叶面积则呈现逐渐升高的变化趋势;施氮显著提高植物叶片蒸腾系数( $P < 0.05$ ),提高光合速率、气孔导度,降低胞间二氧化碳浓度,促进燕麦光合作用;叶面积与产量呈极显著正相关( $P < 0.01$ );不同饲用燕麦品种对氮肥的响应程度存在明显的差异,燕王和牧王对氮肥的敏感程度强于甜燕1号和牧乐思品种,燕王和牧王的适宜施氮量是200 kg/hm<sup>2</sup>,甜燕1号和牧乐思则是300 kg/hm<sup>2</sup>。

**关键词:**饲用燕麦;氮肥;光合特性;产量

**中图分类号:**S512.6 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2021)06-0132-07

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cyycp.2021.06.019



燕麦(*Avena sativa*)为禾本科燕麦属一年生粮饲兼用作物<sup>[1-2]</sup>,种植范围广,全球范围内种植面积位居第6位,仅次于小麦,玉米,水稻,大麦和高粱<sup>[3]</sup>。我国燕麦年种植面积约70万hm<sup>2</sup>,其中,饲用燕麦年种植面积约33万hm<sup>2</sup><sup>[4]</sup>。饲用燕麦具有耐寒、耐旱、耐贫瘠等较强的抗逆性和较高的营养价值<sup>[5-7]</sup>。近年来,

在科尔沁沙地种植面积增加迅速<sup>[8]</sup>,追施氮肥是饲用燕麦在沙地生产中的关键栽培技术措施<sup>[9-10]</sup>。氮肥作为植物生长过程中主要的肥料之一,能够直接影响作物的产量<sup>[11]</sup>。氮素不仅影响植物的生长过程,同时影响植物的光合作用,对作物 $P_n$ 、 $C_i$ 及 $G_s$ 也有显著影响<sup>[12]</sup>。目前,关于氮肥对植物光合特性影响的研究,在水稻、玉米、小麦等作物上较多<sup>[13-15]</sup>,燕麦上较少,不同饲用燕麦品种之间是否存在氮素影响的光合特性差异,则鲜有报道。刘锁云等<sup>[16]</sup>研究表明,适宜的施氮量能够提高燕麦叶片光合机构活性,使得 $P_n$ 的提高幅度大于 $T_r$ 。因此,本试验探究不同施氮水平下不同饲用燕麦品种的叶片生长、光合参数和产量,分析氮肥与品种互作对其光合、产量的影响,叶面积、光和参数与产量的相关性,为科尔沁沙地饲用燕麦高产、高效品种的选育及高产栽培提供理论依据。

**收稿日期:**2020-10-13; **修回日期:**2021-01-25

**基金项目:**内蒙古民族大学研究生科研创新资助项目(NMDSS1953);内蒙古自治区科技储备项目(2018MDCB032);内蒙古自然科学基金项目(2019MS03075)

**作者简介:**王鑫(1995-),女,内蒙古鄂伦春自治旗人,硕士研究生。E-mail:1466501390@qq.com

张玉霞为通信作者。

E-mail:yuxiazhang685@163.com

## 1 材料和方法

### 1.1 试验地概况

试验地位于内蒙古自治区通辽市内蒙古民族大学农业科技园区(N 43°30', E 122°27'), 属于温带大陆性气候。土壤以沙土为主, 土壤有机质含量 4.79 g/kg, 全氮含量 1.87 g/kg, 碱解氮含量 11.24 mg/kg, 速效

钾含量 95.12 mg/kg, 速效磷含量 10.59 mg/kg。年平均气温 0~6 °C,  $\geq 10$  °C 年积温 3 000~3 200 °C, 无霜期 140~150 d, 年平均降水量 340~400 mm, 蒸发量是降水量的 5 倍, 年平均风速 3.0~4.5 m/s。

### 1.2 供试材料

供试燕麦品种及来源见表 1。

表 1 饲用燕麦品种及来源

Table 1 Varieties and sources of feed oats

编号	品种	来源	原产
1	燕王(Yanwang)	北京正道生态科技有限公司	加拿大
2	牧王(Muwang)	北京正道生态科技有限公司	加拿大
3	甜燕 1 号(Tianyan No. 1)	北京佰青源畜牧科技有限公司	加拿大
4	牧乐思(Mulesi)	北京正道生态科技有限公司	加拿大

### 1.3 试验设计

试验采用随机区组试验设计, 2019 年 4 月 12 日采用条播方式在内蒙古民族大学农业科技园区种植燕王、牧王、甜燕 1 号、牧乐思等 4 个饲用燕麦品种, 播种时施用过磷酸钙和硫酸钾肥各 150 kg/hm<sup>2</sup>, 于燕麦的分蘖期、拔节期、抽穗期、开花期按照 15%、40%、25%、20% 比例追施氮肥 0 (CK), 100, 200, 300 kg/hm<sup>2</sup> 氮肥(纯氮), 分别用 N<sub>0</sub>、N<sub>100</sub>、N<sub>200</sub>、N<sub>300</sub> 表示, 共 16 个处理, 小区面积 4 m×5 m=20 m<sup>2</sup>, 每处理设 3 个重复, 共 48 个小区, 四周设保护行。播种行距 15 cm, 播种量 150 kg/hm<sup>2</sup>, 播种深度 3 cm, 氮肥、磷肥、钾肥分别为尿素(44.0%)、重过磷酸钙(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 44.6%)、氯化钾(K<sub>2</sub>O 50.0%), 灌溉方式为喷灌。灌浆期测定燕麦旗叶、倒二叶、倒三叶的叶面积、倒二叶的光合参数和产量指标。

### 1.4 测定指标及方法

灌浆期每个小区选择 10 株, 采用长宽系数法测定叶面积, 折算系数为 0.75; 每小区随机选取 5 株, 选择晴朗无风天气于上午 9:00~11:00, 采用 LI-6400 便携式光合仪(LI-COR Inc, 美国)测定燕麦倒二叶的净光合速率(P<sub>n</sub>)、气孔导度(G<sub>s</sub>)、胞间 CO<sub>2</sub> 浓度(C<sub>i</sub>)及蒸腾速率(T<sub>r</sub>); 成熟期每小区选定 1 m×1 m 面积作为测产小区, 称重测产并换算成单位面积产量, 每小区重复 3 次。

### 1.5 数据处理

采用 Excel 2003 进行数据处理, 用 DPS 15.10 进行方差分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 施氮量对不同饲用燕麦品种干草产量的影响

追施氮肥均显著增加不同饲用燕麦品种的产量(P<0.05), 随着施氮量的增加燕王与牧王饲用燕麦品种的产量呈现先增加后降低的变化趋势, 在 N<sub>200</sub> 处理下显著高于其他施氮处理(P<0.05); 甜燕 1 号与牧乐思则呈现持续增加的变化趋势, 在 N<sub>300</sub> 氮素水平下产量最高, 亦显著高于其他施氮处理(P<0.05); 与 N<sub>0</sub> 处理相比, 在 N<sub>200</sub> 氮素水平下燕王和牧王产量分别提高 61.43% 和 54.23%, 在 N<sub>300</sub> 处理下甜燕 1 号和牧乐思产量分别提高 65.53% 和 76.89%; 在 N<sub>0</sub> 和 N<sub>200</sub> 处理下, 牧王的产量显著高于燕王、甜燕 1 号和牧乐思(P<0.05), 且各品种间差异显著(P<0.05); 在 N<sub>100</sub> 处理下, 燕王的产量显著高于其他饲用燕麦品种(P<0.05); 甜燕 1 号在 N<sub>300</sub> 氮素水平的产量显著高于其他饲用燕麦品种(P<0.05)。说明, 饲用燕麦品种燕王和牧王适宜施氮量为 200 kg/hm<sup>2</sup>, 甜燕 1 号和牧乐思适宜施氮量为 300 kg/hm<sup>2</sup>(表 2)。

### 2.2 施氮量对不同饲用燕麦品种叶片生长的影响

与不施氮肥相比, 追施氮肥均显著促进了不同饲用燕麦品种叶片的生长(P<0.05), 燕王和牧王饲用燕麦品种的叶面积随着施氮量的增加呈先增加后降低的变化趋势, 且均在 N<sub>200</sub> 处理下叶面积最大, 燕王的旗叶叶面积最大为 45.52 cm<sup>2</sup>, 倒二叶叶面积最大为 46.41 cm<sup>2</sup>, 倒三叶叶面积最大为 38.11 cm<sup>2</sup>; 牧王的旗叶叶面积最大为 70.6 cm<sup>2</sup>, 倒二叶叶面积最大为

68.31cm<sup>2</sup>,倒三叶叶面积最大为 52.00 cm<sup>2</sup>;其中燕王的旗叶、倒二叶、倒三叶和牧王的倒二叶的叶面积均为 N<sub>200</sub>处理显著高于其他施氮处理( $P < 0.05$ ),牧王的旗叶和倒三叶的叶面积则是 N<sub>200</sub>与 N<sub>300</sub>处理差异不显著( $P > 0.05$ ),但显著高于对照和 N<sub>100</sub>( $P < 0.05$ )。甜燕 1 号和牧乐思燕麦品种的叶片面积则随着施氮量的增加

呈增加的趋势,但在 N<sub>200</sub>和 N<sub>300</sub>处理下,只有甜燕 1 号的倒二叶和牧乐思的旗叶叶面积差异显著( $P < 0.05$ ),甜燕 1 号的旗叶叶面积最大为 40.78 cm<sup>2</sup>,倒二叶叶面积最大为 48.72 cm<sup>2</sup>,倒三叶叶面积最大为 39.65 cm<sup>2</sup>,牧乐思的旗叶叶面积最大为 43.46 cm<sup>2</sup>,倒二叶叶面积最大为 40.91 cm<sup>2</sup>,倒三叶叶面积最大为 34.14 cm<sup>2</sup>(表 3)。

表 2 不同饲用燕麦品种产量在不同施氮量下的变化

Table 2 Yield changes of different forage oat varieties under different nitrogen application rates kg/hm<sup>2</sup> DW

施氮水平	饲用燕麦品种			
	燕王	牧王	甜燕 1 号	牧乐思
N <sub>0</sub>	4 351.34±49.91 <sup>dB</sup>	5 245.28±30.91 <sup>dA</sup>	4 062.13±81.89 <sup>dC</sup>	2 857.10±94.62 <sup>dB</sup>
N <sub>100</sub>	9 707.35±42.42 <sup>cA</sup>	7 759.18±72.40 <sup>cC</sup>	9 543.52±34.40 <sup>cB</sup>	6 239.94±65.82 <sup>cD</sup>
N <sub>200</sub>	11 281.10±25.37 <sup>aB</sup>	11 460.41±16.51 <sup>aA</sup>	9 726.71±33.38 <sup>bC</sup>	8 844.84±57.26 <sup>bD</sup>
N <sub>300</sub>	10 442.26±44.20 <sup>bD</sup>	10 841.29±49.85 <sup>bC</sup>	11 786.12±95.85 <sup>aB</sup>	12 364.98±58.02 <sup>aA</sup>

注:表中不同小写字母表示相同品种不同氮肥处理差异显著( $P < 0.05$ ),不同大写字母表示相同氮肥处理不同品种差异显著( $P < 0.05$ )。下同

表 3 不同饲用燕麦品种叶片面积在不同施氮量下的变化

Table 3 Changes in leaf area of different forage oat varieties under different nitrogen application rates cm<sup>2</sup>

叶片部位	施氮水平	饲用燕麦品种			
		燕王	牧王	甜燕 1 号	牧乐思
旗叶	N <sub>0</sub>	20.05±1.35 <sup>bB</sup>	45.26±2.31 <sup>cA</sup>	21.97±3.4 <sup>bB</sup>	14.81±1.98 <sup>cC</sup>
	N <sub>100</sub>	34.48±2.96 <sup>bb</sup>	48.67±1.38 <sup>bA</sup>	32.49±2.12 <sup>bb</sup>	33.92±2.32 <sup>bb</sup>
	N <sub>200</sub>	45.52±1.85 <sup>aB</sup>	70.60±1.92 <sup>aA</sup>	38.77±3.95 <sup>aC</sup>	35.66±2.42 <sup>bD</sup>
	N <sub>300</sub>	34.58±2.94 <sup>bC</sup>	70.27±3.1 <sup>aA</sup>	40.78±3.1 <sup>aB</sup>	43.46±2.05 <sup>aB</sup>
倒二叶	N <sub>0</sub>	19.12±2.81 <sup>cC</sup>	41.78±1.84 <sup>dA</sup>	28.66±2.1 <sup>dB</sup>	14.59±2.13 <sup>cD</sup>
	N <sub>100</sub>	37.61±2.92 <sup>bb</sup>	46.92±2.33 <sup>cA</sup>	34.9±2.58 <sup>cBC</sup>	34.19±3.52 <sup>bC</sup>
	N <sub>200</sub>	46.41±1.78 <sup>aB</sup>	68.31±3.44 <sup>aA</sup>	44.34±3.5 <sup>bb</sup>	39.47±2.21 <sup>aC</sup>
	N <sub>300</sub>	37.32±2.82 <sup>bD</sup>	63.68±3.19 <sup>bA</sup>	48.72±1.86 <sup>aB</sup>	40.91±2.88 <sup>aC</sup>
倒三叶	N <sub>0</sub>	15.8±2.61 <sup>dC</sup>	29.37±1.15 <sup>cA</sup>	18.95±1.98 <sup>bB</sup>	9.62±1.61 <sup>cD</sup>
	N <sub>100</sub>	32.72±2.64 <sup>bb</sup>	37.00±2.55 <sup>bA</sup>	29.45±1.94 <sup>bC</sup>	23.00±2.86 <sup>bD</sup>
	N <sub>200</sub>	38.11±2.64 <sup>aB</sup>	52.00±2.77 <sup>aA</sup>	38.96±3.08 <sup>aB</sup>	33.30±2.68 <sup>aC</sup>
	N <sub>300</sub>	30.11±1.53 <sup>cD</sup>	49.86±1.9 <sup>aA</sup>	39.65±2.96 <sup>aB</sup>	34.14±2.19 <sup>aC</sup>

### 2.3 施氮量对不同饲用燕麦光合参数的影响

燕王、牧王、甜燕 1 号饲用燕麦品种的  $P_n$  均在 N<sub>100</sub>处理最高(表 4),牧王的  $P_n$  最高为 21.51  $\mu\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ ,燕王的  $P_n$  在 N<sub>100</sub>和 N<sub>200</sub>处理下差异不显著( $P > 0.05$ ),但显著高于 N<sub>0</sub>和 N<sub>300</sub>处理( $P < 0.05$ ),牧王和甜燕 1 号的  $P_n$  则是 N<sub>100</sub>显著高于其他施氮量处理( $P < 0.05$ )。牧乐思饲用燕麦品种的  $P_n$  在 N<sub>300</sub>处理最高,且显著高于其他处理( $P < 0.05$ ),与 N<sub>0</sub>处理相比,N<sub>100</sub>、N<sub>200</sub>和 N<sub>300</sub>处理下,燕王的  $P_n$  值分别提高了 28.72%、25.11%和 18.64%,牧王的  $P_n$  值分别提

高了 46.25%、24.54%和 22.78%,甜燕 1 号的  $P_n$  值分别提高了 32.01%、16.33 和 15.02%,牧乐思的  $P_n$  值分别提高了 2.31%、0.78%和 18.5%,由此说明,牧王、甜燕 1 号的  $P_n$  在 100 kg/hm<sup>2</sup> 最强,燕王则在 100~200 kg/hm<sup>2</sup> 施氮处理下较强,牧乐思的  $P_n$  在 300 kg/hm<sup>2</sup> 处理下最强,与 N<sub>0</sub>处理相比牧王在各个施氮水平处理下的增加值较高,不同饲用燕麦品种的  $P_n$  对施氮水平存在明显的差异,牧王对氮素较敏感。随着施氮水平的增加,各饲用燕麦品种  $G_s$  呈现先增加后降低的变化趋势,甜燕 1 号在施氮水平为 200 kg/hm<sup>2</sup> 时

达到最大,其他品种则是在施氮水平为 100 kg/hm<sup>2</sup> 时达到最大,且显著高于其他氮肥处理(除牧乐思的 N<sub>200</sub> 处理)( $P < 0.05$ ),在 N<sub>100</sub> 处理下,燕王与牧王的 G<sub>s</sub> 显著高于甜燕 1 号和牧乐思,与 N<sub>0</sub> 处理相比,燕王、牧王和牧乐思的 G<sub>s</sub> 分别提高了 55.07%、63.41% 和 67.5%,甜燕 1 号的 G<sub>s</sub> 在 N<sub>200</sub> 处理下与 N<sub>0</sub> 处理相比提高了 66.15%;

施氮降低饲用燕麦叶片的 C<sub>i</sub>,且与对照差异显著( $P < 0.05$ )。燕王,牧王,甜燕 1 号在 N<sub>100</sub> 施氮水平下 C<sub>i</sub> 最低,牧乐思在 N<sub>200</sub> 施氮水平下 C<sub>i</sub> 最低,均与其他

施氮处理差异显著( $P < 0.05$ ),在 N<sub>200</sub> 处理下,燕王和牧王的 C<sub>i</sub> 显著低于甜燕 1 号和牧乐思( $P < 0.05$ )。随着施氮量的增加,燕王和牧王饲用燕麦品种的 T<sub>r</sub> 呈先增加后降低的变化趋势,燕王在 N<sub>200</sub>、牧王在 N<sub>100</sub> 处理下 T<sub>r</sub> 最高,且均显著高于对照和其他氮肥处理( $P < 0.05$ );甜燕 1 号则随着施氮量的增加 T<sub>r</sub> 呈增加趋势,显著高于对照( $P < 0.05$ ),施氮处理之间差异不显著( $P > 0.05$ );牧乐思的不同氮肥处理差异不显著( $P > 0.05$ ),N<sub>100</sub> 处理与 N<sub>200</sub> 处理显著高于对照( $P < 0.05$ )。

表 4 不同饲用燕麦品种光合系数在不同施氮量下的变化

Table 4 Change in photosynthetic coefficient of different forage oat varieties under different nitrogen application rates

光合特征指标	施氮水平	饲用燕麦品种			
		燕王	牧王	甜燕 1 号	牧乐思
$P_n / (\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	N <sub>0</sub>	8.86 ± 0.63 <sup>cC</sup>	11.56 ± 0.31 <sup>cA</sup>	8.71 ± 0.42 <sup>cC</sup>	10.13 ± 0.55 <sup>bB</sup>
	N <sub>100</sub>	12.43 ± 0.29 <sup>aB</sup>	21.51 ± 0.22 <sup>aA</sup>	12.81 ± 0.75 <sup>aB</sup>	10.37 ± 0.46 <sup>bC</sup>
	N <sub>200</sub>	11.83 ± 0.4 <sup>aB</sup>	15.32 ± 0.30 <sup>bA</sup>	10.41 ± 0.69 <sup>bC</sup>	10.21 ± 0.70 <sup>bC</sup>
	N <sub>300</sub>	10.89 ± 0.55 <sup>bC</sup>	14.97 ± 0.64 <sup>bA</sup>	10.25 ± 0.44 <sup>bC</sup>	12.43 ± 0.47 <sup>aB</sup>
$G_s / (\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	N <sub>0</sub>	0.31 ± 0.02 <sup>cA</sup>	0.30 ± 0.02 <sup>cA</sup>	0.22 ± 0.02 <sup>cAB</sup>	0.13 ± 0.03 <sup>cB</sup>
	N <sub>100</sub>	0.69 ± 0.09 <sup>aB</sup>	0.82 ± 0.01 <sup>aA</sup>	0.47 ± 0.09 <sup>bC</sup>	0.40 ± 0.06 <sup>aC</sup>
	N <sub>200</sub>	0.49 ± 0.01 <sup>bB</sup>	0.50 ± 0.01 <sup>bB</sup>	0.65 ± 0.03 <sup>aA</sup>	0.37 ± 0.05 <sup>aB</sup>
	N <sub>300</sub>	0.36 ± 0.04 <sup>cB</sup>	0.35 ± 0.02 <sup>cB</sup>	0.52 ± 0.05 <sup>bA</sup>	0.29 ± 0.03 <sup>bB</sup>
$C_i / (\mu\text{mol} \cdot \text{mol}^{-1})$	N <sub>0</sub>	469.33 ± 6.66 <sup>aB</sup>	511.33 ± 3.79 <sup>aA</sup>	510.33 ± 10.26 <sup>aA</sup>	426.67 ± 11.59 <sup>aC</sup>
	N <sub>100</sub>	278.33 ± 3.06 <sup>bB</sup>	280.0 ± 14.11 <sup>bB</sup>	403.67 ± 5.51 <sup>cA</sup>	397.67 ± 5.13 <sup>bA</sup>
	N <sub>200</sub>	420.04 ± 3.61 <sup>cA</sup>	398.02 ± 2.65 <sup>cB</sup>	426.33 ± 6.51 <sup>bA</sup>	218.67 ± 1.53 <sup>dC</sup>
	N <sub>300</sub>	452.67 ± 5.51 <sup>bA</sup>	439.33 ± 3.06 <sup>bA</sup>	441.21 ± 10.03 <sup>bA</sup>	290.22 ± 7.21 <sup>cB</sup>
$T_r / (\text{mmol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1})$	N <sub>0</sub>	2.71 ± 0.26 <sup>cA</sup>	2.21 ± 0.17 <sup>cAB</sup>	1.61 ± 0.08 <sup>bB</sup>	2.02 ± 0.19 <sup>bB</sup>
	N <sub>100</sub>	3.55 ± 0.11 <sup>bAB</sup>	4.21 ± 0.85 <sup>aA</sup>	3.18 ± 0.21 <sup>aB</sup>	3.04 ± 0.13 <sup>aB</sup>
	N <sub>200</sub>	4.64 ± 0.68 <sup>aA</sup>	3.11 ± 0.11 <sup>bB</sup>	3.34 ± 0.21 <sup>aB</sup>	2.91 ± 0.32 <sup>aB</sup>
	N <sub>300</sub>	2.74 ± 0.02 <sup>cB</sup>	2.69 ± 0.05 <sup>bCB</sup>	3.61 ± 0.08 <sup>aA</sup>	2.39 ± 0.06 <sup>aB</sup>

## 2.4 叶面积、光合参数及产量指标的相关性分析

相关性分析表明(表 5),产量与 T<sub>r</sub> 呈正相关,与 C<sub>i</sub> 呈负相关,但不显著,P<sub>n</sub> 与旗叶叶面积呈极显著正相关,与倒二叶、倒三叶叶面积呈显著正相关。G<sub>s</sub> 与倒三叶叶面积呈显著相关,与 P<sub>n</sub> 呈极显著正相关。T<sub>r</sub> 与产量、倒三叶叶面积呈显著正相关,与 G<sub>s</sub> 呈极显著正相关(表 5)。由此说明,施肥可提高 P<sub>n</sub>、G<sub>s</sub>、T<sub>r</sub>、产量,降低 C<sub>i</sub> 促进植物光合作用和蒸腾作用,光合因子是增产的主要因素之一。旗叶、倒二叶、倒三叶叶面积与产量之间呈极显著正相关,说明追施氮肥促进叶片的生长,进一步促进光合作用,提高饲用燕麦的产量。

## 3 讨论

叶片是植物进行光合作用的主要场所,叶面积是反映植株光合能力的重要生长指标<sup>[17]</sup>。崔纪菡等<sup>[18]</sup>研究表明施氮可显著扩展燕麦单叶面积,可提高叶片实际受光面积,保持较高的叶面积指数,促进光合转化率和物质积累。焦瑞枣<sup>[19]</sup>研究表明,增施氮肥可提高不同品种裸燕麦各生育时期的叶面积指数。本研究表明,适宜的施氮量可显著提高植株的叶面积与产量,提高植物光合性能,叶面积与产量呈极显著正相关,叶面积大有利于燕麦获得更多的光能从而增加产量。这与张衍华等<sup>[20]</sup>研究施肥对不同品种小麦光合速率

表 5 叶面积、光合参数及产量指标的相关性

Table 5 Correlation between leaf area and photosynthetic parameters

相关系数	产量	旗叶叶面积	倒二叶叶面积	倒三叶叶面积	$P_n$	$G_s$	$C_i$	$T_r$
产量	1.000 0							
旗叶叶面积	0.65**	1.000 0						
倒二叶叶面积	0.73**	0.97**	1.000 0					
倒三叶叶面积	0.83**	0.93**	0.98**	1.000 0				
$P_n$	0.310 0	0.63**	0.56*	0.55*	1.000 0			
$G_s$	0.450 0	0.360 0	0.450 0	0.53*	0.61**	1.000 0		
$C_i$	-0.360 0	-0.130 0	-0.130 0	-0.230 0	-0.410 0	-0.440 0	1.000 0	
$T_r$	0.53*	0.330 0	0.400 0	0.49*	0.470 0	0.81**	-0.370 0	1.000 0

注：\*\*表示在 0.01 水平上显著；\* 表示在 0.05 水平上显著

及叶绿素含量的影响结果一致。叶片生长特性对氮肥施用量的响应亦表明,燕王和牧王饲用燕麦品种较甜燕 1 号和牧乐思对施氮量敏感,在  $N_{200}$  施氮量处理达到最大值。

施氮量对植株叶片  $P_n$ 、 $G_s$ 、 $C_i$ 、 $T_r$  有重要影响<sup>[21]</sup>。张秋英等<sup>[22]</sup>和 JIMG<sup>[23]</sup>发现,光合速率的变化趋势与氮素营养的供应多少有密切关系。孙旭生等<sup>[24]</sup>研究表明,合理施氮在一定程度上可使冬小麦旗叶叶片气孔导度得以延缓,提高旗叶对  $C_i$  的利用能力,提高光合性能,但过量施氮无益于小麦旗叶蒸腾速率的提高。施氮能够提高杂交谷子的净光合速率、蒸腾速率和气孔导度<sup>[25]</sup>。在光合作用下植物进行物质生产,较高的光合生产力是作物获得高产的物质基础<sup>[26]</sup>。本研究表明:增施氮肥增加了燕麦倒二叶  $P_n$ 、 $G_s$ 、与  $T_r$ ,但  $C_i$  降低,因此施氮可提高燕麦光合特性。 $T_r$  与产量、倒三叶叶面积呈显著正相关, $T_r$  是影响产量的因素之一,适量的施氮量有助于燕麦光合产物的积累并获得高产。殷毓芬<sup>[27]</sup>等研究表明不同冬小麦品种旗叶  $P_n$  出现的高峰期差异较大。本研究表明,随着施氮水平的提高,不同燕麦品种光合性能之间存在较大的差异,燕王和牧王饲用燕麦品种在  $N_{100}$  处理下具有较强的光合性能。这与董祥开等<sup>[28]</sup>研究氮素对燕麦冠层结构及光合特性的影响结果一致。

## 4 结论

增施氮肥显著促进旗叶、倒二叶、倒三叶叶片生长,显著提高蒸腾系数,提高光合速率、气孔导度,降低胞间二氧化碳浓度,促进光合作用,提高产量。不同饲用燕麦品种对氮肥的响应程度存在明显的差异,燕王

和牧王的适宜施氮量是  $200 \text{ kg/hm}^2$ ,甜燕 1 号和牧乐思则是  $300 \text{ kg/hm}^2$ 。

### 参考文献:

- [1] 黄相国,葛菊梅.燕麦(*Avena sativa* L.)的营养成分与保健价值探讨[J].麦类作物学报,2004,24(4):147-149.
- [2] 徐长林.高寒牧区不同燕麦品种生长特性比较研究[J].草业学报,2012,21(2):280-285.
- [3] Hoffman L A. World production and use of oats[M]// Welch R W. The Oat Crop: Production and Utilization. New York:Chapman& Hill Press,1995:34-61.
- [4] 任长忠,胡新中.中国燕麦产业“十二五”发展报告(2011-2015)[R].西安:陕西科学出版社,2016.
- [5] 赵桂琴,慕平,魏黎明.饲用燕麦研究进展[J].草业学报,2007,16(4):116-125.
- [6] 李颖,毛培胜.燕麦种质资源研究进展[J].安徽农业科学,2013,41(1):72-76.
- [7] 琚泽亮,赵桂琴,柴继宽,等.不同燕麦品种在甘肃中部的营养价值及青贮发酵品质综合评价[J].草业学报,2019,28(9):77-86.
- [8] 娜日苏,梁庆伟,杨秀芳,等.13个燕麦品种在科尔沁沙地的生产性能评价[J].黑龙江畜牧兽医,2018(17):136-141.
- [9] 张玉霞,朱爱民,郭园,等.追施氮肥对灌浆期沙地饲用燕麦叶片衰老特性的影响[J].华北农学报,2019,34(1):124-130.
- [10] 田永雷,张玉霞,朱爱民,等.施氮对科尔沁沙地饲用燕麦产量及氮肥利用率的影响[J].草原与草坪,2018,38(5):54-58.
- [11] 马鹏,杨志远,李娜,等.油菜-水稻轮作模式下油菜季氮肥投入与水稻季氮肥运筹对杂交籼稻光合生产力及产量的影响[J].华南农业大学学报,2020,41(3):23-30.

- [12] Kouki H. Interspecific difference in the photosynthesis-nitrogen relationship: patterns, physiological causes, and eco-logical importance[J]. *J Plant Res*, 2004, 117: 481—494.
- [13] 康彩睿, 谢军红, 李玲玲, 等. 种植密度与施氮量对陇中旱农区玉米产量及光合特性的影响[J]. *草业学报*, 2020, 29(5): 141—149.
- [14] 王彬, 王玉波, 佟桐, 等. 不同施氮模式对玉米光合特性和氮代谢关键酶的影响[J]. *玉米科学*, 2020, 28(2): 135—142.
- [15] 陈天鑫, 王艳杰, 张燕, 等. 不同施氮量对冬小麦光合生理指标及产量的影响[J]. *作物杂志*, 2020(2): 88—96.
- [16] 刘锁云, 陈磊庆, 胡廷会, 等. 水氮耦合对燕麦光合特性的影响[J]. *西北农业学报*, 2013, 22(1): 60—67.
- [17] 刘剑钊, 袁静超, 周康, 等. 不同氮肥施用水平对春玉米光合特性及产量构成的影响[J]. *玉米科学*, 2019, 27(5): 151—157.
- [18] 崔纪菡, 余成群, 钟志明, 等. 施氮对燕麦生长及光合特征的影响[C]//中国草学会学术年会论文集, 2013: 371—378.
- [19] 焦瑞枣. 施氮量对裸燕麦不同品种产量和品质影响的研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2004.
- [20] 张衍华, 毕建杰, 王琦, 等. 施肥对不同品种小麦光合速率及叶绿素含量的影响[J]. *山东农业科学*, 2007(1): 77—78.
- [21] 梁志霞, 杜虎, 彭晚霞, 等. 氮肥、刈割强度对桂牧1号杂交象草光合特性的影响[J]. *草业学报*, 2013, 22(4): 319—326.
- [22] 张秋英, 刘晓冰, 金剑, 等. 水肥耦合对大豆光合特性及产量品质的影响[J]. *干旱地区农业研究*, 2003, 21(1): 47—50.
- [23] JIM G. Nitrogen study fertilizes fears of pollution[J]. *Nature*, 2005, 433(7028): 791.
- [24] 孙旭生, 林琪, 赵长星, 等. 施氮量对超高产冬小麦灌浆期旗叶光响应曲线的影响[J]. *生态学报*, 2009, 29(3): 1428—1437.
- [25] 张亚琦, 李淑文, 付巍, 等. 施氮对杂交谷子产量与光合特性及水分利用效率的影响[J]. *植物营养与肥料学报*, 2014, 20(5): 1119—1126.
- [26] 伊虎英, 郝玉怀, 鱼宏斌, 等. 硒肥对低硒区谷子籽粒含硒量及产量的影响[J]. *土壤通报*, 1991(1): 47.
- [27] 殷毓芬, 张存良, 姚凤霞. 冬小麦不同品种叶片光合速率与气孔导度等性状之间关系的研究[J]. *作物学报*, 1995(5): 561—567.
- [28] 董祥开, 衣莹, 刘恩财, 等. 氮素对燕麦冠层结构及光合特性的影响[J]. *华北农学报*, 2008(3): 133—137.

## Effects of nitrogen topdressing on leaf growth and photosynthetic characteristics of oat varieties

WANG Xin<sup>1</sup>, ZHANG Yu-xia<sup>1</sup>, BAO Qing-long<sup>2</sup>, ZHANG Qing-xin<sup>1</sup>,  
GUO Yuan<sup>1</sup>, Siriguleng<sup>1</sup>, CONG Bai-ming<sup>3</sup>

(1. Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao 028041, China; 2. Grassland Station of Chifeng, Chifeng 024000, China; 3. Tongliao Institute of Animal Husbandry and Veterinary Science, Tongliao 028000, China)

**Abstract:** This study investigated the effects of different nitrogen(N) application rates on the growth and photosynthetic physiological characteristics in four different oat varieties including Yanwang, Muwang, Tianyan No. 1 and mulesi. The trial was undertaken in Horqin sandy land. Nitrogen fertilizer at a total rate of 0(CK), 100, 200 and 300 kg/hm<sup>2</sup> N fertilizer(pure N) was split applied at the tillering, jointing, heading and flowering stages with a proportion of 15%, 40%, 25% and 20% respectively. The leaf area and photosynthetic parameters were determined at the grain-filling stage, and the yield measured at the maturity stage. The results showed that topdressing N fertilizer could significantly increase the yield of forage oat varieties. With the increasing N fertil-

izer rate, Yanwang and Muwang showed an initial increase followed by a decrease, while Tianyan No. 1 and Mulesi showed a gradual increase, compared with the N<sub>0</sub> treatment. The yield of Yanwang and Muwang increased by 61.43% and 54.23% under the N<sub>200</sub> nitrogen level, and the yield of Tianyan No. 1 and Mulesi increased by 65.53% and 76.89% under the N<sub>300</sub> treatment. Increasing rate of N fertilizer significantly promoted the growth of flag leaves, second and third leaves from the top ( $P < 0.05$ ). With the increasing N rate, leaf area of Yanwang and Muwang showed an initial increase followed by a decrease with the maximum value found under N<sub>200</sub> treatment, while Tianyan No. 1 and Mulesi increased leaf area gradually in response to increasing N rate. Nitrogen application significantly increased leaf transpiration coefficient ( $P < 0.05$ ), photosynthetic rate and stomatal conductance, while reduced intercellular carbon dioxide concentration. There was a significant positive correlation between leaf area and yield ( $P < 0.01$ ). Different oat varieties responded differently to N fertilizer with Yanwang and Muwang being more responsive to N fertilizer than Tianyan No. 1 and Mulesi. The suitable N application rate was 200 kg/hm<sup>2</sup> for Yanwang and Muwang, and 300 kg/hm<sup>2</sup> for Tianyan No. 1 and Mulesi.

**Key words:** oats for feed; nitrogen fertilizer; photosynthetic characteristics; yield

.....  
(上接 131 页)

## Effects of tourism disturbance on vegetation and soil properties of grassland

WANG Xue-chao<sup>1</sup>, LIU Yan-ping<sup>2</sup>, GAO Yong<sup>1</sup>, LIU Ji-de<sup>1</sup>, YANG Feng<sup>1</sup>

(1. *College of Desert Control Science and Engineering, Inner Mongolia Agricultural University, huihot 010018, China*; 2. *Department of Water Resources for Pastoral Areas of the Ministry of Water Resources, huihot 010020, China*)

**Abstract:** With the continuous improvement of the national economic level, the grassland tourism industry has developed rapidly and become universal and extensive. Taking Xilamuren grassland as an example, the effects of different tourist disturbance levels on the physical and chemical properties of vegetation and soil were analyzed in combination with the development and utilization status of scenic spots. The results showed that tourism disturbance reduced plant richness and aboveground biomass to different degrees, while diversity index and evenness index increased. With the increasing intensity of tourism interference, soil bulk density and compacting degree increased gradually, while soil water content decreased gradually. The content of soil organic matter, total nitrogen, total phosphorus and total potassium also showed a decreasing trend. Soil moisture content was negatively correlated with soil compactness ( $P > 0.01$ ), while positively correlated with soil total available potassium, total available phosphorus, organic matter, and abundance ( $P < 0.01$ ).

**Key words:** grassland tourism; plant diversity; soil properties; Xilamuren grassland