

网络出版时间:2021-10-09 16:24

DOI:10.13207/j.cnki.jnwafu.2022.04.012

网络出版地址:https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1390.S.20211009.1056.010.html

施氮水平对沙地生境下不同饲用燕麦品种干物质积累及氮素吸收利用的影响

张玉霞¹,王鑫¹,张庆昕¹,斯日古楞¹,郭园¹,杜晓艳¹,王月林²

(1 内蒙古民族大学 农学院,内蒙古 通辽 028041;2 内蒙古自治区林草苗木总站,内蒙古 呼和浩特 010017)

【摘要】【目的】探究科尔沁沙地生境下不同饲用燕麦品种的干物质积累和氮素吸收利用效率对氮素水平的响应,为该地区饲用燕麦高产栽培及氮肥利用率的提高提供依据。【方法】以燕王、牧王、甜燕 1 号和牧乐思 4 个饲用燕麦品种为材料,研究不同施氮水平(0,100,200,300 kg/hm²,依次用 N₀、N₁₀₀、N₂₀₀、N₃₀₀ 表示)对其生物量、氮素吸收和分配以及氮肥利用率的影响。【结果】1)随着施氮量的增加,燕王和牧王茎、叶、穗及全株干物质积累呈先增加后降低的变化趋势,且均以 N₂₀₀ 处理燕麦干物质积累显著高于其他处理;甜燕 1 号和牧乐思茎、叶、穗及全株干物质积累则逐渐增加,均以 N₃₀₀ 处理最高,且显著高于其他氮肥处理。2)随着施氮量的增加,4 个饲用燕麦品种茎、叶、穗及全株的氮素含量均呈先增加后降低的变化趋势,且均在 N₂₀₀ 处理下氮素含量最高。3)燕王和牧王茎、叶、穗和全株及甜燕 1 号茎、叶、穗的氮素积累量均在 N₂₀₀ 处理下最高。4)在 N₂₀₀ 处理下,甜燕 1 号和牧乐思的氮素干物质生产率(NDMPE)高于燕王和牧王,但其干物质生产效率(DMPE)、氮素农艺效率(NAE)、氮素表观回收率(NRE)均低于燕王和牧王,在 N₃₀₀ 处理下,甜燕 1 号和牧乐思的 DMPE 和 NAE 则高于燕王和牧王。【结论】燕王和牧王属于低氮高效型饲用燕麦品种,甜燕 1 号和牧乐思属于高氮高效型饲用燕麦品种。在科尔沁沙地生境下,燕王和牧王的氮肥适宜施用量为 200 kg/hm²,甜燕 1 号和牧乐思的氮肥适宜施用量为 300 kg/hm²。

【关键词】施氮水平;饲用燕麦;干物质积累;氮素利用率;沙地生境

【中图分类号】S543⁺.6

【文献标志码】A

【文章编号】1671-9387(2022)04-0093-07

Effect of nitrogen application level on dry matter accumulation and nitrogen absorption and utilization of different forage oats in sandy habitat

ZHANG Yuxia¹,WANG Xin¹,ZHANG Qingxin¹,SIRI Guleng¹,GUO Yuan¹,
DU Xiaoyan¹,WANG Yuelin²

(1 College of Agriculture, Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao, Inner Mongolia 028041, China;

2 Inner Mongolia Autonomous Region Forest and Grass Seedlings General Station, Hohhot, Inner Mongolia 010017, China)

Abstract: 【Objective】This study explored the response of dry matter accumulation and nitrogen absorption and utilization efficiency of forage oat varieties to nitrogen level in Horqin sandy land to provide basis for high-yield cultivation and nitrogen utilization efficiency of forage oat in this area. 【Method】Four forage oat varieties including Yanwang, Muwang, Tianyan No. 1 and Mulesi were selected to analyze the effects of different nitrogen application levels (0,100,200 and 300 kg/hm², expressed as N₀, N₁₀₀, N₂₀₀ and

【收稿日期】2021-04-23

【基金项目】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);内蒙古民族大学科学研究项目(NMDYB17148)

【作者简介】张玉霞(1965—),女,内蒙古赤峰人,教授,博士,主要从事饲草栽培与抗性生理研究。

E-mail:yuxiazhang685@163.com

【通信作者】王月林(1964—),男,内蒙古乌兰察布人,高级畜牧师,主要从事牧草栽培研究。E-mail:402209022@qq.com

N_{300} , respectively) on biomass, nitrogen uptake and distribution as well as nitrogen use efficiency. 【Result】 1) With the increase of nitrogen application rate, the dry matter accumulation of stem, leaf, ear and whole plant of Yanwang and Muwang increased at first and then decreased, and the dry matter accumulation of N_{200} treatment was significantly higher than that of other treatments. The dry matter accumulation of stem, leaf, ear and whole plant of Tianyan No. 1 and Mulesi increased gradually, and N_{300} treatment had significantly higher value than that of other treatments. 2) With the increase of nitrogen application rate, the nitrogen contents of stem, leaf, ear and whole plant of the four forage oat varieties increased at first and then decreased with the highest in N_{200} treatments. 3) Nitrogen accumulation in stem, leaf, ear and whole plant of Yanwang and Muwang and that in stem, leaf and ear of Tianyan No. 1 peaked in the N_{200} treatments. 4) In the N_{200} treatments, the nitrogen dry matter production efficiency (NDMPE) of Tianyan No. 1 and Mulesi was higher than that of Yanwang and Muwang, but the dry matter production efficiency (DMPE), nitrogen agronomic efficiency (NAE) and nitrogen apparent recovery efficiency (NRE) of Yanwang and Muwang were higher than that of Tianyan No. 1 and Mulesi. In the N_{300} treatments, DMPE and NAE of Tianyan No. 1 and Mulesi were higher than those of Yanwang and Muwang. 【Conclusion】 Yanwang and Muwang were the type of low nitrogen and high efficiency, while Tianyan No. 1 and Mulesi were the type of high nitrogen and high efficiency. In Horqin sandy land, the suitable nitrogen application rate was 200 kg/hm² for Yanwang and Muwang and 300 kg/hm² for Tianyan No. 1 and Mulesi.

Key words: nitrogen application level; feed oats; dry matter accumulation; nitrogen utilization efficiency; sandy habitat

氮素是植物必需的大量营养元素之一,是限制禾谷类作物产量和品质的重要因子^[1]。但氮肥施用过多会对土壤和环境造成不利影响^[2-3]。科尔沁沙地土壤瘠薄,含氮量低,种植禾谷类饲草及饲料作物,需要投入大量的氮素^[4-6]。田永雷等^[7]研究表明,在科尔沁沙地饲用作物生产中,由于土壤保肥力差,存在化肥投入量大,施用不合理现象。因此,在保护生态环境的同时进行饲用作物的生产,提高氮肥利用率,有效利用沙化草地显得尤为重要。

燕麦(*Avena sativa* L.)属禾本科燕麦属一年生草本植物,具有喜凉、抗寒、抗旱和耐瘠薄等特性^[8],是我国北方及西北地区重要的粮饲兼用作物^[9]。饲用燕麦在科尔沁沙地一年种植两季^[10],是苜蓿等豆科牧草的倒茬作物,具有产量高、品质好、经济效益高等优良特性^[11]。随着内蒙古农牧交错区奶牛、肉羊等畜牧业的不断发展,饲草料尤其是青绿饲草的需求量不断增加。作为饲料作物,燕麦在饲草料利用方面具有较大发展潜力^[12]。品种对燕麦产量和氮素吸收利用有显著影响^[13],苗玉红等^[14]研究了 24 个燕麦品种在 2 个氮素水平下的生物学产量、氮素积累及氮素利用效率等方面的差异,结果表明不同燕麦品种对低氮的忍耐能力不同。为系统研究裸燕麦氮效率,葛军勇等^[15]选用 8 个不同基因型裸燕麦种质进行田间试验,在裸燕麦不同生育期对不同

氮素利用效率指标的基因型差异及裸燕麦氮素营养进行分析,结果表明裸燕麦氮效率基因型效应显著。因此,在农业生产上应因地制宜,选育适宜的燕麦品种,以提高氮素利用率,实现优质高产。

高阳等^[16]研究表明,在科尔沁沙地饲用燕麦生产中,追施氮肥增产效果明显。王乐等^[17]以梦龙燕麦为试验材料进行氮肥施用量试验,结果表明在科尔沁沙地氮肥适宜用量为 210 kg/hm²。娜日苏等^[18]对科尔沁沙地 13 个主栽饲用燕麦品种进行了适应性筛选,结果表明贝勒二代和牧王综合表现最好,适宜在阿鲁科尔沁旗地区推广种植。但到目前为止,针对科尔沁沙地饲用燕麦适宜品种的最优施氮量的研究尚未见报道。因此,本研究针对科尔沁沙地主栽的燕王、牧王、甜燕 1 号、牧乐思 4 个饲用燕麦品种,分别设置 0, 100, 200, 300 kg/hm² 4 个施氮水平,研究不同饲用燕麦品种的干物质积累量、氮素吸收量及氮素利用率对施氮水平的响应,筛选科尔沁沙地饲用燕麦的最佳施氮水平及氮高效饲用燕麦品种,为科尔沁沙地饲用燕麦高产栽培及氮肥利用率的提高提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验区位于内蒙古民族大学农牧业科技园区

(43°30′ N,122°27′ E),属于温带大陆性气候。土壤为风沙土,土壤有机质 7.28 mg/kg,全氮素 1.87 g/kg,碱解氮素 11.24 mg/kg,速效钾 95.12 mg/kg,速效磷 10.59 mg/kg。年平均气温 0~6℃,≥10℃积温 3 000~3 200℃,无霜期 140~150 d,年平均降水量 340~400 mm,蒸发量是降水量的 5 倍左右,年平均风速 3.0~4.5 m/s。

1.2 供试材料

饲用燕麦品种燕王、牧王、牧乐思来源于北京正道生态科技有限公司,饲用燕麦品种甜燕 1 号来源于北京佰清源畜牧科技有限公司,4 个饲用燕麦品种的原产地均为加拿大。

1.3 试验设计

在内蒙古民族大学农牧业科技园区,于 2019 年 4 月 1 日采用条播方式种植 4 个饲用燕麦品种,条播行距 15 cm,播种量 150 kg/hm²,播种深度 3 cm,基肥为重过磷酸钙(P₂O₅ 46%)、氯化钾(K₂O 50%),施用量均为 150 kg/hm²,灌溉方式为喷灌。设置 0(CK),100,200,300 kg/hm² 4 个氮素(纯 N)水平,依次用 N₀,N₁₀₀,N₂₀₀,N₃₀₀ 表示,肥料为尿素(含 N 46%),分别按照 15%,40%,25%,20% 比例在燕麦分蘖期、拔节期、孕穗期、开花期 4 次施入,撒施后及时灌水^[19]。采用裂区试验设计,主区为施氮水平,副区为品种,各品种在主区内随机排列,小区面积 4 m×5 m=20 m²,四周设保护行,4 次重复。于燕麦成熟期测产量及茎、叶、穗干物质含量,取烘干样品测定氮素含量。

1.4 测定指标及方法

于燕麦成熟期在每小区选定 1 m² 作为测产小区,称质量并换算成单位面积产量,每小区重复 3 次。采集样品时,选择长势一致的 20 株植株,地上部分的叶片、茎秆及穗分别采集,带回实验室将各部分用蒸馏水洗净后,于 105℃烘箱内杀青 30 min,75℃烘干至恒质量,称质量后记录每部分生物量,对样品进行粉碎过筛(孔径为 2 mm)备用。

植株氮素含量的测定:将各部分植株样品烘干粉碎后,准确称取 0.05 g 置于消煮管中,采用 H₂SO₄-H₂O₂ 方法于 260~270℃高温消化,定容后用流动分析仪(bran+luEBBE,德国)测定消化液中的氮素含量,计算植株各组织氮素浓度^[20]。

1.5 氮素积累量及氮肥利用率的计算

植株氮素积累量根据以下公式计算^[21]:
全株干物质积累量=茎干物质质量+叶干物质质量+穗干物质质量;

器官氮素积累量(kg/hm²)=[器官氮素含量(mg/g)×器官生物量(kg/hm²)]/1 000;

全株氮素积累量(kg/hm²)=[全株氮素含量(mg/g)×全株生物量(kg/hm²)]/1 000 ;

氮肥表观回收率(nitrogen recovery efficiency, NRE)=(施氮区全株氮素累积量-无氮区全株氮素累积量)/施氮量×100%;

氮素干物质生产效率(nitrogen dry matter production efficiency,NDMPE)= 全株干物质积累量/全株氮素积累量;

干物质生产效率(dry matter production efficiency,DMPE)= 全株干物质积累量/施氮量;

氮肥农艺效率(nitrogen agronomic efficiency, NAE)=(施氮区全株干物质积累量-不施氮区全株干物质积累量)/施氮量。

1.6 数据处理

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

2 结果与分析

2.1 氮肥对饲用燕麦干物质积累的影响

由表 1 可知,燕王和牧王的茎、叶、穗及全株干物质积累量均为 N₂₀₀ 处理最高,且显著高于其他氮肥处理(牧王 N₃₀₀ 处理的穗干物质积累量除外)(P<0.05);甜燕 1 号、牧乐思的茎、叶、穗及全株干物质积累量则均以 N₃₀₀ 处理最高,且均显著高于其他氮肥处理(P<0.05);在 N₂₀₀ 处理下,牧王的茎、叶、穗和全株干物质积累量均显著高于甜燕 1 号和牧乐思(P<0.05),且牧王的叶和全株的干物质积累量显著高于燕王;在 N₃₀₀ 处理下,牧乐思的茎、叶、全株及甜燕 1 号的穗干物质积累量最高,且显著高于其他饲用燕麦品种(P<0.05)。表明不同饲用燕麦的氮肥适宜用量存在明显差异,燕王和牧王氮肥适宜用量为 200 kg/hm²,甜燕 1 号和牧乐思的氮肥适宜用量为 300 kg/hm²。

2.2 氮肥对饲用燕麦氮素含量的影响

如表 2 所示,随着施氮量的增加,4 个饲用燕麦品种茎、叶、穗及全株的氮素含量均呈先增加后降低的变化趋势,且均在 N₂₀₀ 处理下氮素含量最高。说明科尔沁沙地生境下饲用燕麦在 N₂₀₀ 处理下吸收氮素能力最强。

由表 2 还可知,不同饲用燕麦品种的氮素含量有差异,其中牧乐思茎的氮素含量较高,且在 N₀、N₁₀₀、N₃₀₀ 处理下均显著高于其他饲用燕麦品种

($P<0.05$),在 N_{200} 处理下亦显著高于燕王($P<0.05$)。叶片的氮素含量则是燕王较高,且在 N_0 和 N_{300} 处理下显著高于其他饲用燕麦品种($P<0.05$),在 N_{100} 和 N_{200} 处理下亦显著高于甜燕 1 号和牧乐思。穗的氮素含量则是甜燕 1 号和燕王较高。在

N_{100} 处理下燕王的全株氮素含量显著高于其他饲用燕麦品种,在 N_{200} 和 N_{300} 处理下牧王的全株氮素含量显著高于其他饲用燕麦品种。由此说明牧王和燕王吸收氮的能力强于甜燕 1 号和牧乐思。

表 1 施氮水平对饲用燕麦干物质积累的影响

Table 1 Effect of topdressing nitrogen fertilizer on dry matter accumulation of fodder oats

部位 Location	氮肥处理 Nitrogen treatment	干物质积累量/(kg·hm ⁻²) Dry matter accumulation			
		燕王 Yanwang	牧王 Muwang	甜燕 1 号 TianyanNo. 1	牧乐思 Mulesi
茎 Stem	N_0	1 777.61±44.33 dB	1 951.18±60.81 dA	1 801.54±52.61 dB	1 254.53±70.49 dC
	N_{100}	4 450.98±49.64 cA	3 414.53±37.60 cB	4 442.38±45.87 cA	2 940.82±47.45 cC
	N_{200}	5 266.63±61.60 aA	5 345.73±35.23 aA	4 677.49±32.93 bB	4 141.37±27.78 bC
	N_{300}	4 726.95±75.48 bD	4 932.42±36.29 bC	5 506.82±72.68 aB	5 919.06±23.50 aA
叶 Leaf	N_0	1 139.23±27.65 dB	1 178.55±29.26 dA	998.57±73.61 cC	751.23±28.82 dD
	N_{100}	2 178.49±26.16 cB	2 213.88±50.24 cC	2 307.10±38.07 bA	1 487.52±39.91 cD
	N_{200}	2 628.73±35.84 aB	2 765.66±36.06 aA	2 352.11±79.64 bC	2 134.48±93.89 bD
	N_{300}	2 515.81±52.60 bC	2 611.23±19.47 bC	2 767.27±59.14 aB	3 181.21±18.87 aA
穗 Ear	N_0	1 434.49±40.64 dB	1 515.55±32.47 cA	1 262.01±56.50 cC	851.33±35.70 dD
	N_{100}	3 077.89±42.28 cA	2 530.77±51.08 bC	2 794.05±26.98 bB	1 811.60±55.87 cD
	N_{200}	3 385.74±78.98 aA	3 349.02±14.56 aA	2 697.11±65.44 bB	2 568.99±75.28 bC
	N_{300}	3 199.51±51.35 bB	3 297.64±87.24 aB	3 512.03±15.65 aA	3 264.71±17.03 aB
全株 Whole plant	N_0	4 351.34±49.91 dB	4 645.28±30.91 dA	4 062.13±81.89 dC	2 857.10±94.62 dD
	N_{100}	9 707.35±42.42 cA	8 157.18±72.40 cC	9 543.52±34.40 cB	6 239.94±65.82 cD
	N_{200}	11 281.10±25.37 aB	11 460.41±16.51 aA	9 726.71±33.38 bC	8 844.84±57.26 bD
	N_{300}	10 442.26±44.20 bD	10 841.29±49.85 bC	11 786.12±95.85 aB	12 364.98±58.02 aA

注:同列数据后不同小写字母表示相同品种同一部位不同处理在 0.05 水平下差异显著,同行数据后不同大写字母表示相同处理不同品种在 0.05 水平下差异显著,下同。

Note: Different lowercase letters indicate significant differences at the level of 0.05 for different treatments of the same variety in same location, and different capital letters indicate significant differences at the level of 0.05 for the same treatments among different varieties. The same below.

表 2 施氮水平对饲用燕麦氮素含量的影响

Table 2 Effect of topdressing nitrogen fertilizer on nitrogen content of forage oats

部位 Location	氮肥处理 Nitrogen treatment	氮素含量/% Nitrogen content			
		燕王 Yanwang	牧王 Muwang	甜燕 1 号 TianyanNo. 1	牧乐思 Mulesi
茎 Stem	N_0	0.59±0.08 bB	0.47±0.08 dB	0.65±0.01 cB	0.90±0.11 cA
	N_{100}	0.67±0.10 abB	0.73±0.06 cB	0.74±0.19 cB	1.28±0.13 bA
	N_{200}	0.81±0.04 aB	1.44±0.07 aA	1.63±0.08 aA	1.54±0.04 aA
	N_{300}	0.61±0.12 bC	1.11±0.12 bB	1.19±0.06 bB	1.43±0.04 abA
叶 Leaf	N_0	2.41±0.05 bA	1.65±0.11 cB	0.87±0.19 cC	0.64±0.01 bC
	N_{100}	2.75±0.19 aA	2.61±0.27 aA	1.18±0.10 bB	0.76±0.02 bB
	N_{200}	2.97±0.05 aA	2.78±0.09 aA	1.84±0.05 aB	1.26±0.18 aB
	N_{300}	2.79±0.13 aA	2.28±0.04 bB	1.24±0.07 bC	1.05±0.02 aC
穗 Ear	N_0	1.03±0.01 cA	0.67±0.02 cB	0.96±0.04 bA	0.62±0.01 cB
	N_{100}	1.21±0.09 bB	0.82±0.03 bD	1.38±0.02 aA	1.04±0.05 bC
	N_{200}	1.37±0.02 aA	1.14±0.02 aB	1.44±0.11 aA	1.42±0.05 aA
	N_{300}	1.12±0.02 bcA	1.11±0.17 aA	1.06±0.03 bA	0.62±0.03 cB
全株 Whole plant	N_0	0.93±0.01 dA	0.93±0.04 cA	0.89±0.01 cAB	0.93±0.05 bA
	N_{100}	1.27±0.02 cA	1.11±0.04 bB	0.94±0.03 cC	0.96±0.03 bC
	N_{200}	1.48±0.02 aB	1.61±0.02 aA	1.38±0.02 aC	1.26±0.05 aD
	N_{300}	1.36±0.01 bB	1.54±0.02 aA	1.21±0.08 bC	1.01±0.06 bD

2.3 氮肥对饲用燕麦氮素积累量的影响

如表 3 所示,燕王和牧王的茎、叶、穗及全株的氮素积累量均以 N_{200} 处理最高,且显著高于其他施氮处理(除牧王穗的氮素积累量外)($P<0.05$);牧

乐思的茎、叶及全株的氮素积累量则是在 N₃₀₀ 处理下最高,且与其他氮肥处理差异显著($P<0.05$);穗的氮素积累量均以 N₂₀₀ 处理最高,显著高于其他施氮处理($P<0.05$)。甜燕 1 号茎、叶、穗的氮素积累量在 N₂₀₀ 处理下最高,且显著高于其他施氮处理(除穗的 N₃₀₀ 处理外)($P<0.05$);全株氮素积累量则以 N₃₀₀ 处理最高,且显著高于其他施氮处理($P<0.05$)。表明不同饲用燕麦品种的氮素积累量在不同施氮处理下存在明显差异,燕王和牧王在 N₂₀₀ 处理下吸收积累氮素能力较强,牧乐思则在 N₃₀₀ 处理下吸收积累氮素能力最强。

在 N₂₀₀ 处理下,牧王和甜燕 1 号茎的氮素积累量显著高于燕王和牧乐思($P<0.05$),叶的氮素积累量则是燕王和牧王显著高于甜燕 1 号,穗的氮素积累量为燕王显著高于其他饲用燕麦品种,全株的氮素含量为牧王显著高于其他饲用燕麦品种($P<0.05$);在 N₃₀₀ 处理下,牧乐思茎的氮素积累量、燕王叶的氮素积累量、牧王全株氮素积累量最高,且与其他饲用燕麦品种差异显著($P<0.05$),牧乐思穗的氮素积累量显著低于其他饲用燕麦品种($P<0.05$)。由此说明,不同饲用燕麦品种氮素积累分配部位亦存在明显差异。

表 3 施氮水平对饲用燕麦氮素积累的影响
Table 3 Effect of topdressing nitrogen fertilizer on nitrogen accumulation of forage oats

部位 Location	氮肥处理 Nitrogen treatment	氮素积累量/(kg·hm ⁻²) Nitrogen accumulation			
		燕王 Yanwang	牧王 Muwang	甜燕 1 号 TianyanNo. 1	牧乐思 Mulesi
茎 Stem	N ₀	10.44±1.52 cA	9.16±1.66 dA	11.78±0.75 dA	11.45±0.83 dA
	N ₁₀₀	29.84±1.66 bC	24.89±0.21 cD	32.63±0.78 cB	37.55±0.68 cA
	N ₂₀₀	46.17±1.87 aC	77.02±1.13 aA	76.13±0.86 aA	63.97±1.09 bB
	N ₃₀₀	28.83±0.60 bD	54.05±0.82 bC	65.68±1.69 bB	84.60±1.32 aA
叶 Leaf	N ₀	27.39±0.96 dA	19.43±1.16 dB	8.63±1.55 dC	4.81±0.15 dD
	N ₁₀₀	59.83±0.72 cA	57.75±1.39 cA	27.28±1.76 cC	11.31±0.59 cD
	N ₂₀₀	78.03±1.17 aA	76.75±1.85 aA	43.12±0.39 aB	26.9±1.29 bC
	N ₃₀₀	70.15±0.66 bA	59.42±1.27 bB	34.25±1.87 bC	33.58±0.84 aC
穗 Ear	N ₀	14.94±0.61 cA	10.15±0.53 cbAB	12.23±0.78 bB	5.28±1.29 cC
	N ₁₀₀	37.31±2.24 bA	20.65±0.60 bB	38.51±2.69 aA	18.78±1.35 bB
	N ₂₀₀	46.01±1.53 aA	38.09±1.08 aB	38.91±1.21 aB	36.57±0.83 aB
	N ₃₀₀	35.93±1.36 bA	36.16±1.64 aA	37.09±0.78 aA	20.35±2.14 bB
全株 Whole plant	N ₀	40.57±0.26 dA	38.74±2.06 dA	36.08±0.99 dB	26.57±0.71 dC
	N ₁₀₀	123.05±2.53 cA	90.54±2.63 cC	89.46±2.39 cB	60.02±2.16 cD
	N ₂₀₀	166.98±2.25 aB	184.74±1.72 aA	133.78±2.22 bC	111.75±0.82 bD
	N ₃₀₀	142.42±0.61 bB	166.51±1.57 bA	141.25±2.05 aB	124.03±1.61 aC

2.4 氮肥对饲用燕麦氮肥利用率的影响

由表 4 可知,施氮处理的氮素干物质生产效率(NDMPE)均低于对照,且甜燕 1 号和牧乐思均高于燕王和牧王;在 N₂₀₀ 处理下,4 个饲用燕麦品种的 NDMPE 均最低;但干物质生产效率(DMPE)、氮素

农艺效率(NAE)、氮素表观回收率(NRE)均为燕王、牧王高于甜燕 1 号和牧乐思。在 N₃₀₀ 处理下,甜燕 1 号和牧乐思的 DMPE 和 NAE 高于燕王和牧王,说明燕王和牧王是低氮高效型饲用燕麦品种,甜燕 1 号和牧乐思则属于高氮高效型饲用燕麦品种。

表 4 施氮水平对饲用燕麦氮素利用效率的影响
Table 4 Effects of topdressing nitrogen fertilizer on nitrogen use efficiency of oats

燕麦品种 Variety of oat	氮肥处理 Nitrogen treatment	氮素干物质生产效率/(kg·kg ⁻¹) Nitrogen dry matter productivity	干物质生产效率/(kg·kg ⁻¹) Dry matter production efficiency	氮素农艺效率/(kg·kg ⁻¹) Nitrogen agronomic efficiency	氮肥表观回收率/% Apparent recovery rate of nitrogen fertilizer
燕王 Yanwang	N ₀	107.26	/	/	/
	N ₁₀₀	78.89	97.07	53.56	82.48
	N ₂₀₀	67.56	56.41	34.65	63.21
	N ₃₀₀	73.32	34.81	20.33	33.95
牧王 Muwang	N ₀	119.90	/	/	/
	N ₁₀₀	90.98	81.57	46.54	51.80
	N ₂₀₀	62.04	57.30	31.08	70.58
	N ₃₀₀	65.11	36.14	18.65	40.98

表 4(续) Continued table 4

燕麦品种 Variety of oat	氮肥处理 Nitrogen treatment	氮素干物质生产 效率/(kg·kg ⁻¹) Nitrogen dry matter productivity	干物质生产效率/ (kg·kg ⁻¹) Dry matter production efficiency	氮素农艺效率/ (kg·kg ⁻¹) Nitrogen agronomic efficiency	氮肥表观回收率/% Apparent recovery rate of nitrogen fertilizer
甜燕 1 号 Tianyan No. 1	N ₀	112.59	/	/	/
	N ₁₀₀	106.68	95.44	54.81	53.38
	N ₂₀₀	72.71	48.63	28.32	48.85
	N ₃₀₀	83.44	39.29	25.75	35.06
牧乐思 Mulesi	N ₀	107.53	/	/	/
	N ₁₀₀	104.00	62.40	33.83	33.43
	N ₂₀₀	79.15	44.22	29.94	42.59
	N ₃₀₀	99.69	41.22	31.69	32.49

3 讨 论

干物质积累是作物产量形成的基础,氮素营养是影响作物干物质形成的重要因素。高丽敏等^[21]研究表明,施用氮肥对甜高粱的生长起着重要作用,长江下游农区饲用甜高粱每茬氮肥用量以 244.50 kg/hm² 为宜;过量施用氮肥不仅不会持续提高甜高粱的生物量,还会导致氮肥利用率降低。适宜施氮量不仅有利于植物自身的生长发育,而且对土壤环境的改善具有正效作用,氮肥施用量因地制宜,不同品种间亦不同^[22-25]。侯迷红等^[22]研究表明,甜荞麦干物质积累总量随着施氮量的增加呈先增后降的变化趋势。王茂莹等^[25]研究表明,鲁中山区小麦最佳施氮量为 240 kg/hm²,泰农 18 号为最适宜推广小麦品种,汶农 5 号具有较大的增产潜力。根据干物质积累量确定不同植物种类及品种在不同地区的适宜氮肥用量,本研究以 4 个饲用燕麦品种为材料,研究了氮肥用量对科尔沁沙地生境下饲用燕麦干物质积累的影响,结果表明,燕王和牧王氮肥适宜用量为 200 kg/hm²,甜燕 1 号和牧乐思氮肥适宜用量为 300 kg/hm²。

适量氮可以提高作物的物质生产能力,一定程度上促进植株氮素积累总量的提升^[21];而过量施氮,植物根系生长受到抑制进而影响根系对养分的吸收速率,并最终导致氮素含量的降低^[26-29]。冯洋等^[30]研究发现,在正常氮处理条件下,不同生育期氮高效水稻品种地上部氮累积量与低效品种间无显著差异;但在低氮处理下,灌浆期和成熟期氮高效水稻品种氮素累积量高于或显著高于低效品种。本研究表明,随着施氮量的增加,4 个饲用燕麦品种茎、叶、穗及全株的氮素含量均呈先增加后降低的变化趋势,且均在 N₂₀₀ 处理下氮素含量最高,但燕王和牧王的茎、叶、穗和全株氮素积累量为 N₂₀₀ 处理最高,而甜燕 1 号的全株和牧乐思的茎、叶、穗及全株氮素

积累量均以 N₃₀₀ 处理最高。因此,研究认为燕王和牧王为低氮高效型饲用燕麦品种,甜燕 1 号和牧乐思则为高氮高效型饲用燕麦品种。

氮肥农艺效率(NAE)可以用来评价氮肥的增产效果,过量施氮导致作物物质生产能力增幅变小,氮肥农艺效率降低^[8,21,26]。本研究中氮肥农艺效率随施氮量的增加逐渐降低,因此,适当的降低氮肥施用,不仅是提高实际生产中产出投入比的需要,亦是降低氮肥过量施用风险的需要。氮素表观回收率(NRE)反映了植株氮素吸收和氮肥施用量之间的平衡状况。本研究中,N₁₀₀ 处理下燕王表观回收率大于牧王、甜燕 1 号和牧乐思,而在 N₂₀₀ 处理下燕王和牧王高于甜燕 1 号和牧乐思,在 N₃₀₀ 处理时 4 个燕麦品种表观回收率均较低,故本研究认为施氮量应在 200 kg/hm² 左右,更有利于在维持土壤氮素输入和输出平衡的同时,降低土壤氮素的残留。

4 结 论

燕王和牧王属于低氮高效型饲用燕麦品种,甜燕 1 号和牧乐思则属于高氮高效型饲用燕麦品种;在科尔沁沙地生境下,燕王和牧王氮肥适宜用量是 200 kg/hm²,甜燕 1 号和牧乐思适宜氮肥用量为 300 kg/hm²;在科尔沁沙地生境下种植燕王和牧王饲用燕麦品种,200 kg/hm² 施氮量下,其氮素利用率高,干物质积累量大。

[参考文献]

[1] Roxana S, Victor O S, Gustavo A S. Benchmarking nitrogen utilisation efficiency in wheat for Mediterranean and non-Meditranean European regions [J]. Field Crops Research, 2019,241:107573.

[2] Lidiya M, Orest F, Valeriy P, et al. Nitrogen balance of crop production in Ukeaine [J]. Journal of Environmental Management, 2019,246:860-867.

[3] Lassaletta L, Billen G, Garnier J, et al. Nitrogen use in the

global food system: past trends and future trajectories of agro-
nomic performance, pollution, trade, and dietary demand [J].
Environmental Research Letters, 2016, 11(9): 095007.

[4] 李娟娟, 李利敏, 马理辉. 不同滴灌施肥量对沙地玉米氮效率及
硝态氮的影响 [J]. 中国土壤与肥料, 2020(5): 56-63.
Li J J, Li L M, Ma L H. Effects of different fertilization by drip
irrigation on nitrogen efficiency and nitrate nitrogen in sandy
land [J]. Soil and Fertilizer Sciences in China, 2020(5): 56-63.

[5] 李振松, 李向林, 万里强. 水氮耦合对科尔沁沙地燕麦生产性能
的影响 [J]. 中国草地学报, 2020, 42(4): 145-152.
Li Z S, Li X L, Wan L Q. Effect of water-nitrogen coupling on
oat production performance in horqin sandy land [J]. Chinese
Journal of Grassland, 2020, 42(4): 145-152.

[6] 郑毅, 李丰义, 刘庭玉, 等. 膨润土-腐植酸与氮肥配施对科尔
沁沙地土壤无机氮淋溶和生物有效性的影响 [J]. 中国土壤与
肥料, 2019(6): 114-122.
Zheng Y, Li F Y, Liu T Y, et al. The effects of bentonite-hu-
mic acid amendment and nitrogen application on soil inorganic
nitrogen leaching and bioavailability in Horqin sandy soil [J].
Soil and Fertilizer Sciences in China, 2019(6): 114-122.

[7] 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.
Tian Y L, Zhang Y X, Zhu A M, et al. Effects of nitrogen ap-
plication on yield and nitrogen use efficiency of oat in Horqin
sandy land [J]. Grassland and Turf, 2018, 38(5): 54-58.

[8] 赵桂琴, 师尚礼. 青藏高原饲用燕麦研究与生产现状、存在问题
与对策 [J]. 草业科学, 2004, 21(11): 17-21.
Zhao G Q, Shi S L. The current situation of oat research and
production, problems and strategy in Tibetan Plateau [J].
Pratacultural Science, 2004, 21(11): 17-21.

[9] 赵世锋, 巴图巴根, 任长忠, 等. 阿旗草用燕麦生产调查及种植
前景分析 [J]. 农学学报, 2015, 5(12): 86-93.
Zhao S F, Batu B G, Ren C Z, et al. Forage oat production in-
vestigation and analysis of planting prospect in Ar horqin [J].
Journal of Agriculture, 2015, 5(12): 86-93.

[10] 李新一, 王加亭, 韩天虎, 等. 我国饲草料生产形势及对策
[J]. 草业科学, 2015, 32(12): 2155-2166.
Li X Y, Wang J T, Han T H, et al. China's fodder production
situation and countermeasure analysis [J]. Pratacultural Sci-
ence, 2015, 32(12): 2155-2166.

[11] 李向林, 沈禹颖, 万里强. 种植业结构调整和草牧业发展潜力
分析及政策建议 [J]. 中国工程科学, 2016, 18(1): 94-105.
Li X L, Shen Y Y, Wan L Q. Potential analysis and policy rec-
ommendations for restructuring the crop farming and develop-
ing forage industry in China [J]. Engineering Science, 2016,
18(1): 94-105.

[12] 孙建平, 董宽虎, 蒯晓妍, 等. 晋北农牧交错区引进燕麦品种生
产性能及饲用价值比较 [J]. 草业学报, 2017, 26(11): 222-
230.
Sun J P, Dong K H, Kuai X Y, et al. Comparison of productivi-
ty and feeding value of introduced oat varieties in the agro-
pasture ecotone of northern Shanxi [J]. Acta Prataculturæ

Sinica, 2017, 26(11): 222-230.

[13] 马雪琴. 高寒牧区播期和氮肥对燕麦产量及其构成和氮素吸
收利用与分配的影响 [D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2007.
Ma X Q. Effects of nitrogen topdressing on leaf senescence
characteristics of forage oats on sandy land during grain filling
[D]. Lanzhou: Gansu Agricultural University, 2007.

[14] 苗玉红, 李慧, 韩燕来, 等. 不同燕麦品种的施氮效应差异
[J]. 河南农业大学学报, 2020, 54(5): 755-761.
Miao Y H, Li H, Han Y L, et al. Differences in nitrogen effect
among oat varieties [J]. Journal of Henan Agricultural Uni-
versity, 2020, 54(5): 755-761.

[15] 葛军勇, 田长叶, 曾昭海, 等. 不同基因型裸燕麦氮素利用效率
与氮素营养特性 [J]. 干旱地区农业研究, 2015(4): 82-87.
Ge J Y, Tian C Y, Zeng Z H, et al. Nitrogen use efficiencies
and their relationships with nitrogen nutritious characteristics
of naked oats with different genotypes [J]. Agricultural Re-
search in the Arid Areas, 2015(4): 82-87.

[16] 高阳, 赵力兴, 朱铁霞, 等. 施氮量对科尔沁沙地燕麦生物量
及物质分配规律的影响 [J]. 草地学报, 2018, 26(5): 1168-
1172.
Gao Y, Zhao L X, Zhu T X, et al. Effects of nitrogen applica-
tion rate on avena sativa biomass and substance distribution in
Horqin sandy land [J]. Acta Agrestia Sinica, 2018, 26(5):
1168-1172.

[17] 王乐, 张玉霞, 于华荣, 等. 氮肥对沙地燕麦生长特性及产量
的影响 [J]. 草业科学, 2017, 34(7): 1516-1521.
Wang L, Zhang Y X, Yu H R, et al. Effect of nitrogen fertiliz-
er application on growth characteristics and yield of oats in
sandy soil [J]. Pratacultural Science, 2017, 34(7): 1516-1521.

[18] 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(上半月), 2018(9): 136-
141.
Narisu, Liang Q W, Yang X F, et al. Production performance
evaluation of 13 oat introduced varieties in Horqin sandy land
[J]. Heilongjiang Animal Science and Veterinary Medicine,
2018(9): 136-141.

[19] 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.
Zhang Y X, Zhu A M, Guo Y, et al. Effects of applying nitro-
gen fertilizer on leaf senescence characteristics of oat in sandy
land during grain filling stage [J]. Acta Agriculturae Boreali-
Sinica, 2019, 34(1): 124-130.

[20] 鲍士旦. 土壤农业化学分析 [M]. 北京: 中国农业出版社,
2005.
Bao S D. Soil agricultural chemical analysis [M]. Beijing: Chi-
na Agriculture Press, 2005.

[21] 高丽敏, 田倩, 苏晶, 等. 施氮水平对甜高粱干物质产量及
氮肥利用率的影响 [J]. 草业学报, 2020, 29(4): 192-198.
Gao L M, Tian Q, Su J, et al. Effects of nitrogen application on
dry matter yield and nitrogen fertilizer use efficiency in sweet
sorghum (*Sorghum bicolor*) [J]. Acta Prataculturæ Sinica,
2020, 29(4): 192-198.

the chemical composition of biomass [J]. Fuel, 2010, 89(5): 913-933.

[15] 高 原. 向日葵叶化学成分研究 [D]. 陕西杨凌: 西北农林科技大学, 2007.

Gao Y. Study on chemical components from sunflower leaves [D]. Yangling, Shaanxi: Northwest A&F University, 2007.

[16] 徐有明. 木材学 [M]. 北京: 中国林业出版社, 2006: 42-77.

Xu Y M. Wood science [M]. Beijing: China Forestry Press, 2006: 42-77.

[17] 王菊华. 中国造纸原料纤维特性及显微图谱 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 1999: 5-14.

Wang J H. Papermaking raw materials of China an atlas of micrographs and the characteristics of fibers [M]. Beijing: China Light Industry Press, 1999: 5-14.

[18] 尹作栋, 潘则林, 王 才, 等. 向日葵髓芯的微结构与力学性能 [J]. 高分子材料科学与工程, 2008, 24(2): 132-135.

Yin Z D, Pan Z L, Wang C, et al. Micro-structure and mechanical properties of the piths of sunflower [J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2008, 24(2): 132-135.

[19] Gibson L J. Biomechanics of cellular solids [J]. Journal of Biomechanics, 2005, 38(3): 377-399.

[20] 冯燕妮, 李和平. 植物显微图解 [M]. 北京: 科学出版社, 2013: 25-56.

Feng Y N, Li H P. Plant micrograph [M]. Beijing: Science Press, 2013: 25-56.

[21] 强 胜. 植物学 [M]. 北京: 高等教育出版社, 2006: 126-145.

Qiang S. Plant science [M]. Beijing: Higher Education Press, 2006: 126-145.

[22] 李忠正. 植物纤维资源化学 [M]. 北京: 中国轻工业出版社, 2012: 3-62.

Li Z Z. Plant fiber resource chemistry [M]. Beijing: China Light Industry Press, 2012: 3-62.

[23] Li Z Y, Zhai H M, Zhang Y. Cell morphology and chemical characteristics of corn stover fractions [J]. Industrial Crops and Products, 2012, 37(1): 130-136.

[24] 艾 莲. 向日葵基生物质材料对放射性核素铀和锶的吸附性能研究 [D]. 四川绵阳: 西南科技大学, 2014.

Ai L. The adsorption characteristics for uranium and stronium on sunflower biomass [D]. Mianyang, Sichuan: Southwest University of Science and Technology, 2014.

[25] Satyanarayana K G, Pillai C K S, Sukumaran K, et al. Structure property studies of fibres from various parts of the coconut tree [J]. Journal of Materials Science, 1982, 17(8): 2453-2462.

[26] Sugiyama J, Imai T, Horikawa Y, et al. Cell wall ultrastructure of palm leaf fibers [J]. IAWA Journal, 2014, 35(2): 127-137.

(上接第 99 页)

[22] 侯迷红, 刘景辉, 杨恒山, 等. 不同氮素用量对甜荞麦干物质和养分积累及分配的影响 [J]. 华北农学报, 2017, 32(3): 214-219.

Hou M H, Liu J H, Yang H S, et al. Effects of nitrogen fertilizer rate on dry matter and nutrient accumulation and distribution of buckwheat [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2017, 32(3): 214-219.

[23] 武志海, 高 娃, 金鸿明, 等. 不同施氮水平下 3 种类型粳稻光合特性及干物质积累分析 [J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2016, 44(8): 75-82.

Wu Z H, Gao W, Jin H M, et al. Photosynthesis and dry matter accumulation characteristics of 3 japonica rice varieties under different nitrogen levels [J]. Journal of Northwest A&F University (Natural Science Edition), 2016, 44(8): 75-82.

[24] 李 强, 孔凡磊, 袁继超. 氮肥运筹对不同氮效率玉米品种干物质生产及产量的影响 [J]. 华北农学报, 2018, 33(6): 174-182.

Li Q, Kong F L, Yuan J C. Effects of nitrogen fertilizer operation on dry matter production and yield of maize cultivars with contrasting nitrogen efficiency [J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica, 2018, 33(6): 174-182.

[25] 王茂莹, 贺明荣, 李 玉, 等. 施氮量对不同小麦品种产量及氮素吸收利用的影响 [J]. 水土保持学报, 2020, 34(4): 241-248.

Wang M Y, He M R, Li Y, et al. Effects of nitrogen application rate on yield and nitrogen uptake and utilization of different wheat varieties [J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2020, 34(4): 241-248.

[26] Li Y, Cao Y, Xu X, et al. Light-saturated photosynthetic rate in high-nitrogen rice (*Oryza sativa* L.) leaves is related to chloroplastic CO₂ concentration [J]. Journal of Experimental Botany, 2009, 60(8): 2351-2360.

[27] Graves P. Measuring root growth response to nitrogen fertilization rates in young pecan seedlings using the minirhizotron method [D]. America: Texas A&M University, 2014.

[28] Jiang W S, Wang K J, Wu Q P, et al. Effects of narrow plant spacing on root distribution and physiological nitrogen use efficiency in summer maize [J]. Crop Journal, 2013, 1(1): 77-83.

[29] Sattelmacher B, Klotz F, Marschner H. Influence of the nitrogen level on root growth and morphology of two potato varieties differing in nitrogen acquisition [J]. Plant and Soil, 1990, 123(2): 131-137.

[30] 冯 洋. 水稻不同产量水平适宜施氮量与主推品种氮效率筛选评价的研究 [D]. 武汉: 华中农业大学, 2014.

Feng Y. Study on the selection and evaluation of suitable nitrogen application rates and nitrogen efficiency of mainly pushed rice varieties at different yield levels [D]. Wuhan: Huazhong Agricultural University, 2014.