第 26 卷 第 5 期 草 地 学 报 2018 年 9 月
Vol. 26 No. 5 ACTA AGRESTIA SINICA Sep. 2018

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2018.05.019

施氮量对科尔沁沙地燕麦生物量及物质分配规律的影响

高 阳[1],赵力兴[1],朱铁霞[1],王 琳[1],高 凯[1,2]*
(1. 内蒙古民族大学农学院,内蒙古 通辽 028043;2. 内蒙古自治区饲用作物工程技术研究中心,内蒙古 通辽 028043)

摘要:在科尔沁沙地研究不同施氮条件下燕麦(*Avena sativa* L.)株高、地上生物量、地下生物量、总生物量,以及根冠比、茎叶比、叶片贡献率、茎秆贡献率、根系贡献率和穗贡献率等相关指标,探讨沙壤土条件下不同施氮量对燕麦的影响,为科尔沁沙地燕麦氮肥管理提供参考。结果表明:燕麦株高、地上生物量、总生物量随着施氮量增加呈现先增加后降低的变化趋势,均在 N3(375 kg·hm^{-2})达到最高值,值分别为:90.6 cm,1 878.6 g·m^{-2},2 341.2 g·m^{-2};不同施肥梯度之间叶片贡献率、穗贡献率、根系贡献率、茎叶比、根冠比均表现出一定差异,而茎秆贡献率差异不显著;其中,随着施肥量的增加,叶片贡献率和穗贡献率均呈现先增加后降低的变化趋势;建议本试验条件下,燕麦最佳追施氮肥量 375 kg·hm^{-2},追施氮肥范围 300～450 kg·hm^{-2}之间。

关键词:燕麦;生物量;株高;贡献率;氮肥
中图分类号:S544 **文献标识码**:A **文章编号**:1007-0435(2018)05-1168-05

Effects of Nitrogen Application Rate on *Avena sativa* Biomass and Substance Distribution in Horqin Sandy Land

GAO Yang[1], ZHAO Li-xing[1], ZHU Tie-xia[1], WANG Lin[1], GAO Kai[1,2]*
(1. Inner Mongolia University for Nationalities, Tongliao, Inner Mongolia 028043, China; 2. EngineeringResearch Center of Forage Crops of Inner Mongolia Autonomous, Tongliao, Inner Mongolia 028043, China)

Abstract: To explore the effects of different nitrogen application rates on oats under sandy loam soil conditions, and to provide reference for the management of oat fertilizer in oats in Horqin Sandy Land, we tested oat (*Avena sativa* L.) plant height, aboveground biomass, underground biomass, total biomass, and root/shoot ratio, stem/leaf ratio, leaf contribution rate, stem contribution rate, root contribution rate and spike contribution rate under different Nitrogen fertilizer application levels. The results showed that the oat plant height, aboveground biomass, total biomass with the increase of nitrogen showed a trend of decrease after the first increase, they reached the highest values in N3 (375 kg·hm^{-2}), respectively: 90.6 cm, 1878.6 g·m^{-2}, 2 341.2 g·m^{-2}; There are different fertilization gradients between leaf contribution rate, spike contribution rate, root contribution rate, stem/leaf ratio and root/shoot ratio, but there was no significant differences in stem contribution rate; with the increase of fertilizer application rate, leaf contribution rate and spike contribution rate increased first and then decreased, which suggested the best nitrogen fertilizer for oats is 375 kg·hm^{-2}, the range of nitrogen application ranged from 300～450 kg·hm^{-2} in Horqin sandy land.

Key words: *Avena sativa* L.; Biomass; Plant height; Contribution rate; Nitrogen fertilizer

燕麦(*Avena sativa* L.)是禾本科燕麦属一年生草本植物,是一种优质的粮、饲兼用作物,在我国北方广泛种植[1-2]。作为粮食作物,燕麦籽实营养成分丰富,富含 β—葡聚糖和大量可溶性膳食纤维,具

收稿日期:2017-12-06;**修回日期**:2018-08-28
基金项目:国家重点研发计划项目"优质燕麦干草调制关键技术及产品研发技术研究与示范"(2017YFD0502103-4);内蒙古自治区饲用作物工程技术研究中心开放课题(MDK2017005)资助
作者简介:高阳(1993-),男,内蒙古赤峰人,硕士研究生,主要从事牧草及能源草高产栽培相关研究,E-mail:673552248@qq.com;*通信作者 Author for correspondence,E-mail:gaokai555@126.com

有良好的降血糖、降血脂的功能[3],是调节人类膳食结构的重要组成部分;作为饲料作物,燕麦草鲜嫩多汁、适口性好、消化率高,既可以调制青干草也可以进行青贮,在畜牧业发展过程中具有重要的地位[4]。

在燕麦研究过程中,学者们发现燕麦的产量和品质不仅由其本身的遗传特性决定,同时也受到外界环境的影响。其中氮肥便是影响燕麦生长发育的重要因素之一[5]。氮肥施入的数量、时期、方法以及氮肥的种类等诸多因素均对燕麦生长发育和产量、品质等产生不同程度的影响[6-8]。施氮作为提高作物产量和品质的重要农艺措施之一[9]被学者广泛研究,大量结果表明,合理施氮能够有效地提高农业生产效率,而不合理的施氮会造成氮肥损失、利用率下降、在土壤中大量残留等不良后果。

在燕麦氮肥研究过程中已经证实,氮肥施入量过多会导致燕麦徒长,茎秆变细,根系生物量降低,容易倒伏,不仅对燕麦产量和品质具有重要影响,也为燕麦的收获带来麻烦[10];如果氮肥施入量较少,则不利于提高燕麦产量和品质[11]。在沙壤土环境条件下,对氮肥施入量的控制更为重要,大量研究表明,施入过多氮肥会导致燕麦在短时间内无法完全吸收,部分由于降雨或灌溉淋溶到土壤下层,不仅严重影响了氮肥的利用效率,也对地下水产生污染[12-14]。科学施氮有利于土壤肥力的保持和燕麦产量及品质的提高,目前不同施氮量对生长在沙壤土中燕麦物质分配规律的研究鲜见报道,本文对生长在科尔沁沙地的燕麦进行不同追施氮肥处理,通过对燕麦株高、生物量等相关指标的测定和计算,探讨不同施氮量对科尔沁沙地燕麦株高和物质分配规律的影响,以期为科尔沁沙地燕麦追肥管理提供参考。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验地设在内蒙古民族大学实验实习基地,位于43°38′ N,122°03′ E,海拔高度 178 M 左右,年平均气温 6.4℃,≥10℃活动积温平均为 3 184℃,极端低温 −30.9℃。无霜期 145D 左右,年平均降水量 399.1 mm 左右,降雨主要集中在 8 月、9 月,土壤为风沙土,有机质含量 4.86 g·kg^{-1},速效钾94.65 mg·kg^{-1},速效磷 10.46 mg·kg^{-1},碱解氮 11.15 mg·kg^{-1},pH 8.2。实验地在种植燕麦之前撂荒,种植燕麦时将地上部分植物旋在地里作为底肥,具有喷灌条件,试验地播种前灌水 1 次,生长干旱时浇水。苗期人工除草 3 次,生长季随时拨除杂草。

1.2　试验设计

2017 年 4 月 20 日进行燕麦种植,品种为燕王(Forage Plus,美国,北京正道生态科技有限公司),种植密度为 400 万株·hm^{-2},播种深度 3 cm。施肥品种为尿素,设置 5 个氮肥梯度,N1:纯氮 225 kg·hm^{-2}、N2:纯氮 300 kg·hm^{-2}、N3:纯氮 375 kg·hm^{-2}、N4:纯氮 450 kg·hm^{-2}、N5:纯氮 525 kg·hm^{-2},分别在 3 叶期(总量 1/3)和拔节期(总量 2/3)以追肥形式施入,小区面积 10 m^2,5 个重复,小区随机排列。

1.3　测定指标

株高:2017 年 7 月 15 日(乳熟期),在每个小区内随机选择 10 株测定垂直高度。

总生物量:2017 年 7 月 15 日(乳熟期),在每个小区中间选取 1 m^2 作为取样对象,将 1 m^2 内的地上生物量齐地面刈割,同时将该范围内 0~50 cm 深度的燕麦根系挖出,清洗,用吸水纸将表面水吸净,称取干重。

各器官生物量:在每个小区内随机选取 10 株,将其整株(包括根、茎、叶和穗)挖出,进行器官分离、烘干,测定各器官生物量,并用于计算相关指标。

1.4　数据处理

1.4.1　*相关计算*　总生物量=地上生物量+根系生物量;根冠比=根系生物量/总生物量;单株总重=根系重+茎秆重+叶片重+穗重;茎叶比=茎秆重/叶片重;茎秆贡献率=茎秆重量/单株总重;叶片贡献率=叶片重量/单株总重;根系贡献率=根系重量/单株总重;穗贡献率=穗重/单株总重。

1.4.2　*数据分析*　利用 DPS 14.0 进行单因素分析和相关性分析。

2　结果与分析

2.1　施氮对燕麦株高的影响

随着氮肥施入量的增加,燕麦株高呈现先增加后降低的变化趋势。其大小关系为:N3>N4>N2>N1>N5,N3 和 N4 条件下燕麦株高显著高于 N5(P<0.05),N1、N2、N3 和 N4 之间及 N1、N2 和 N5 之间均没有表现出显著差异。(图 1)

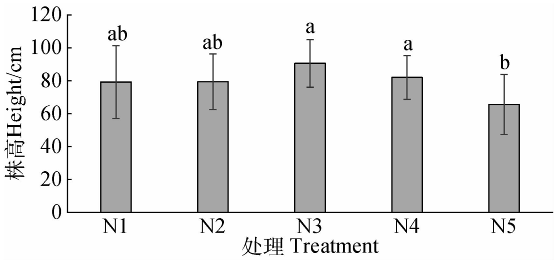

图 1 不同施氮量对株高的影响

Fig. 1 Effects of different nitrogen application rates on plant height

注：不同小写字母表示不同氮肥条件下有显著差异（$P<0.05$），下同

Note: Different lowercase letters indicate significant differences at the 0.05 level, the same as below

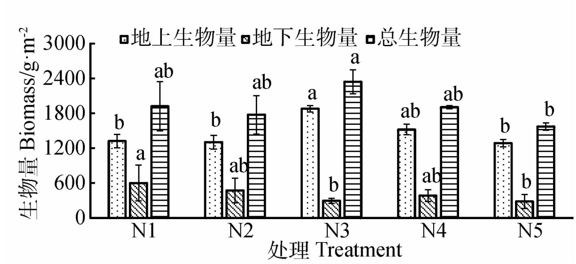

图 2 不同施氮量对生物量的影响

Fig. 2 Effects of different nitrogen application rates on plant biomass

2.2 施氮对燕麦生物量的影响

由图 2 可以看出，随着氮肥施入量的增加，燕麦地上生物量和总生物量均呈现先增加后降低的变化趋势，地下生物量呈现逐渐降低的变化趋势。随氮肥施入量的增加，地上生物量大小关系为：N3＞N4＞N1＞N2＞N5，N3 条件下地上生物量显著高于 N1、N2 和 N5（$P<0.05$）；地下生物量 N1 最高，显著高于 N3 和 N5（$P<0.05$），N1、N2 和 N4 之间及 N2、N3、N4 和 N5 之间差异均不显著；总生物量最大值出现在 N3 处理，显著高于 N5（$P<0.05$），其他处理之间差异均不显著。

2.3 施氮对燕麦物质分配规律的影响

由表 1 可知，随着施肥量的增加，根冠比呈现"V"形变化趋势，最小值在 N3 出现，N1、N2、N4 和 N5 之间有显著差异（$P<0.05$），N4 和 N5 之间差异不显著；茎叶比呈"W"形变化，N2 和 N4 值最低，N1 最高，N1、N3 和 N5 之间没有显著差异，N1 显著高于 N2 和 N3（$P<0.05$）；不同施氮肥条件下，茎秆贡献率没有表现出显著差异，但根系贡献率、叶片贡献率和穗贡献率均差异显著。根系贡献率中 N1 和 N5 之间无显著差异，N1 显著高于 N2、N3 和 N4（$P<0.05$），N2 最低，显著低于 N1 和 N5（$P<0.05$）；叶片贡献率最大值和最小值分别出现在 N2 和 N1；穗贡献率呈先增加后降低的变化趋势，N4 最高，显著高于 N1、N2 和 N5（$P<0.05$），N1 最低，显著低于 N2、N3 和 N4（$P<0.05$）。

表 1 施氮量对燕麦物质分配规律的影响

Table1 Effect of nitrogen application rate on Oat distribution

	根冠比 root/shoot ratio	茎叶比 stem/leaf ratio	根系贡献率 Root contribution rate/%	茎秆贡献率 Stem contribution rate/%	叶片贡献率 Leaf contribution rate/%	穗贡献率 pike contribution rate/%
N1	0.46 ± 0.02^{a}	3.22 ± 0.53^{a}	30.70 ± 9.15^{a}	38.68 ± 5.71^{a}	11.85 ± 2.51^{c}	18.76 ± 4.10^{c}
N2	0.36 ± 0.03^{b}	2.52 ± 0.46^{c}	14.97 ± 5.80^{c}	44.02 ± 4.87^{a}	17.72 ± 3.18^{a}	23.29 ± 3.75^{b}
N3	0.15 ± 0.04^{d}	3.08 ± 0.40^{ab}	16.74 ± 7.52^{bc}	41.28 ± 7.55^{a}	17.50 ± 3.28^{a}	24.48 ± 3.70^{ab}
N4	0.22 ± 0.02^{cd}	2.66 ± 0.48^{bc}	16.40 ± 8.77^{bc}	41.38 ± 9.60^{a}	15.11 ± 3.33^{b}	27.11 ± 4.23^{a}
N5	0.26 ± 0.01^{c}	2.75 ± 0.63^{abc}	23.74 ± 10.35^{ab}	40.20 ± 9.42^{a}	13.63 ± 2.34^{bc}	22.43 ± 5.98^{bc}

注：同列不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$），下同

Note: Difference lowercase letters in same column indicate significant difference at the 0.05 level, the same as below

2.4 相关性分析

由表 2 可知，株高与根重、根冠比、根系贡献率之间呈现极显著负相关关系（$P<0.01$），与茎叶比、茎秆贡献率呈现极显著正相关关系（$P<0.01$），与其他指标相关性均不显著；叶重与根重、穗重、茎重、地上生物量、总生物量和叶片贡献率均表现为极显著正相关关系（$P<0.01$），与茎叶比为极显著负相关关系（$P<0.01$），与其他指标相关性不显著；根重与穗重、茎重、地上生物量、总生物量、根冠比和根系贡献率呈现极显著正相关关系（$P<0.01$），与茎秆贡献率呈现极显著负相关关系（$P<0.01$），其他指标呈现负相关关系；穗重与茎重、地上生物量、总生物量和穗贡献率呈现极显著正相关关系（$P<0.01$）；茎重与地上生物量、总生物量、茎叶比和茎秆贡献率之间呈现极显著正相关关系（$P<0.01$），与其他指标呈负相关关系，其中与根冠比、根系贡献率为显著负相关（$P<0.01$）；地上生物量、总生物量与茎叶比变化规律一致，即与根冠比、叶贡献率、穗贡献率和根系贡献率都呈负相关关系，其中，地上生物量与根贡献率、茎叶比与根冠比、叶贡献率和根系贡

献率为显著负相关（$P<0.01$）；其他指标与叶贡献率、茎贡献率、穗贡献率、根系贡献率都呈负相关关系（根冠比与根系贡献率除外），其中根冠比与叶贡献率、穗贡献率，叶贡献率与穗贡献率、根贡献率，穗贡献率与根系贡献率呈负相关关系，与其他指标呈极显著关系（$P<0.01$）。

表2　相关性分析

Table 2　correlation analysis

	株高 plant height	叶重 Leaf weight	根重 Root weight	穗重 Spike weight	茎重 Steam weight	地上生物量 Above-ground biomass	总生物量 total Biomass	茎叶比 stem/leaf ratio	根冠比 root/shoot ratio	叶贡献率 Leaf contribution rate	茎秆贡献率 Stem contribution rate	穗贡献率 Spike contribution rate	根系贡献率 Root Contribution rate
株高 plant height	1												
叶重 Leaf weight	-0.048	1											
根重 Root weight	-0.480**	0.480**	1										
穗重 Spike weight	0.033	0.695**	0.467**	1									
茎重 Steam weight	0.151	0.771**	0.404**	0.755**	1								
地上生物量 Above-ground biomass	0.095	0.855**	0.466**	0.865**	0.973**	1							
总生物量 total Biomass	-0.015	0.858**	0.620**	0.863**	0.946**	0.983**	1						
茎叶比 stem/leaf ratio	0.268**	-0.292**	-0.080	0.108	0.335**	0.186	0.148	1					
根冠比 root/shoot ratio	-0.563**	-0.111	0.682**	-0.159	-0.288**	-0.245*	-0.076	-0.278**	1				
叶贡献率 Leaf contribution rate	-0.044	0.316**	-0.165	-0.245*	-0.248*	-0.160	-0.176	-0.864**	-0.014	1			
茎秆贡献率 Stem contribution rate	0.378**	0.026	-0.319**	-0.044	0.480**	0.300**	0.199*	0.685**	-0.618**	-0.381**	1		
穗贡献率 Spike contribution rate	0.135	-0.139	-0.146	0.432**	-0.172	-0.027	-0.054	-0.033	-0.181	-0.188	-0.466**	1	
根系贡献率 Root Contribution rate	-0.594**	-0.122	0.668**	-0.174	-0.305**	-0.261**	-0.093	-0.283**	0.992**	-0.007	-0.629**	-0.179	1

3　讨论

合理施氮是生产中调控作物生长发育与产量形成的最重要的措施之一，也是当前作物高产生产中的常规和必要措施[15]。但已有研究表明，植物地上生物量与肥料施加量并不是简单的正相关关系，而存在一定的阈值[16]。氮肥对裸燕麦产量品质的影响研究表明，随着氮肥施入量的增加，燕麦生物产量呈现先增加后降低的变化趋势[8]。本文通过对生长在科尔沁沙地的燕麦进行不同施氮量条件下地上生

物量测定，发现生长在沙壤土中的燕麦也具有相似规律，且随着氮肥施入量的增加，燕麦叶片生物量也呈现先增加后降低的变化趋势。叶片是植物光合作用的主要器官，其生物量的增加势必提高光合产物的积累量，从而提高生物产量。因此，氮肥施加提高叶片生物量，可能是影响燕麦产量的主要原因。同时，随着氮肥施入量增加其株高呈现先增加后降低的变化趋势（图 1），这也是导致燕麦生物产量先增加后降低的重要原因。

氮肥作为植物生长发育过程的重要影响因素，其对株高、生物量、物质分配规律、品质以及脯氨酸、叶绿素等指标均具有影响[17-18]。其中，施氮肥对物质分配规律的影响是最客观且直接的[19]。在对小麦和油菜的研究中都发现，通过不同施氮量处理条件下小麦和油菜的地上部干物质分配指数的研究结论也表明，施肥能够有效地改变小麦和油菜物质分配规律，进而提高产量[20-21]。本研究也得出了一致的结论，即施氮对燕麦物质分配规律具有一定的影响。其中不同施氮条件下叶片、根系和穗贡献率之间均表现出一定的差异，而茎秆贡献率之间差异不显著。同时，燕麦株高和生物量随着氮肥施入量的增加呈现先增加后降低的变化趋势，也进一步证实氮素的施加对植物的影响具有一定的阈值[20]，其阈值除了和植物自身器官数量的变化有密切关系之外，可能还有土壤性质有一定关系，试验区土壤为沙壤土，其持肥、保水能力较差，施入氮肥过多可能由于植物在短时间内不能完全吸收，其中一部分被灌溉淋溶损失（如 N4 和 N3 的生物量和株高，差异并不显著）；还可能是由于土壤中氮素数量过多，对植物根系产生胁迫，影响其正常物质吸收和转运功能，从而导致产量下降（如 N3 总生物量和株高均显著高于 N5）。

4 结论

研究结果表明，在沙壤土追施氮肥过程中，追施氮肥量 375 kg·hm^{-2}、追施氮肥范围 300～450 kg·hm^{-2}之间为佳；且少量多次的施加方式效果更好，这样不仅可以有效地提高氮肥利用效率，减少由于灌溉或者降雨时大量氮肥淋溶造成的氮肥损失，还更加符合使燕麦对氮肥吸收的规律，提高燕麦对氮肥的吸收率。

参考文献

[1] Wu B，Zhang Z W，Chen L Y，*et al*. Isolation and characterization of novel micro-satellite markers for *Avenasativa Poaceae* (Oat)[J]. American Journal of Botany，2012，99(2)：69-71

[2] 柴继宽，赵桂琴，师尚礼. 燕麦种子产量构成因子与产量的关联性分析[J]. 草地学报，2012，20(1)：49-54

[3] 周青平，贾志锋，韩志林，等. 氮、磷肥对裸燕麦子粒产量和β-葡聚糖含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报，2008，14(5)：956-960

[4] 杨海磊，徐长林，鱼小军，等. 14 份燕麦种质在肃南皇城镇的生产性能比较[J]. 草业科学，2016，33(1)：129-135

[5] 赵宏魁，马真，张春辉，等. 种植密度和施氮水平对燕麦生物量分配的影响[J]. 草业科学，2016，33(2)：249-258

[6] 樊明寿，孙亚卿，邵金旺，等. 不同形态氮素对燕麦营养生长和磷素利用的影响[J]. 作物学报，2005，31(1)：114-118

[7] 张新军，杨才，曾昭海，等. 不同施氮量对裸燕麦产量品质及叶面硒肥效率的影响[J]. 中国农学通报，2015，31(33)：122-127

[8] 韩启亮，崔林，韩美善，等. 梯度施氮量及底追比例对旱作燕麦产量的影响[J]. 现代农业科技，2010(15)：69-71

[9] 德科加，周青平，刘文辉，等. 施氮量对青藏高原燕麦产量和品质的影响[J]. 中国草地学报，2007，29(5)：43-48

[10] 任长忠，胡跃高. 中国燕麦学[M]. 北京：中国农业出版社，2013：7-8

[11] 杨启良，周兵，刘小刚，等. 亏缺灌溉和施氮对小桐子根区硝态氮分布及水分利用的影响[J]. 农业工程学报，2013，29(04)：142-150

[12] 张玉春，杨敏，周齐齐，等. 不同氮肥用量条件下花后遮光对冬小麦干物质和氮素积累与转运的影响[J]. 华北农学报，2018，33(03)：203-209

[13] 李韦柳，覃维治，熊军，等. 施氮对狼尾草在南方贫瘠旱坡地生长、能源品质及氮肥利用率的影响[J]. 草业学报，2018，27(03)：144-153

[14] 侯云鹏，孔丽丽，李前，等. 滴灌施氮对春玉米氮素吸收、土壤无机氮含量及氮素平衡的影响[J]. 水土保持学报，2018，32(01)：238-245

[15] 朱兆良. 推荐氮肥适宜施用量的方法论刍议[J]. 植物营养与肥料学报，2006，12(1)：1-4

[16] 雷占兰，周华坤，刘泽华，等. 密度氮肥交互处理下高寒地区燕麦的生长特性与生殖分配[J]. 草业科学，2014，31(6)：1110-1119

[17] 王伟，蔡焕杰，王健，等. 水分亏缺对冬小麦株高、叶绿素相对含量及产量的影响[J]. 灌溉排水学报，2009，28(1)：41-45

[18] 肖俊夫，刘战东，南纪琴，等. 不同水分处理对春玉米生态指标、耗水量及产量的影响[J]. 玉米科学，2010，18(6)：94-97

[19] 闫志利，郭丽琢，方子森，等. 有机肥对胡麻干质积累、分配及产量的影响研究[J]. 中国生态农业学报，2012，20(8)：988-995

[20] 蔡瑞国，张迪，张敏，等. 雨养和灌溉条件下施氮量对小麦干物质积累和产量的影响[J]. 麦类作物学报，2014，34(2)：194-202

[21] 汤亮，朱艳，鞠昌华，等. 油菜地上部干物质分配与产量形成模拟模型[J]. 应用生态学报，2007，18(3)：526-530

（责任编辑 郭建鑫）