

2 种紫花苜蓿氮代谢及其关键酶(NR、GS)活性差异研究

张辉辉,赵雅姣,刘晓静,李振霞

(甘肃农业大学 草业学院/草业生态系统教育部重点实验室/甘肃省草业工程实验室/中-美草地畜牧业可持续发展研究中心,甘肃 兰州 730070)

摘要:为探究不同紫花苜蓿氮代谢差异及氮代谢差异的生理机制,采用盆栽砂培法,通过对 2 个具有典型特征的紫花苜蓿品种(LW6010 和陇东苜蓿)在 2 个氮素水平及 3 个生育时期下其氮代谢产物及氮代谢酶活性差异进行研究,探讨氮代谢产物与氮代谢酶活性的相互关系。结果表明:LW6010 和陇东苜蓿在 N210 水平下其干物质重、氮含量、氮积累量及硝酸还原酶(NR)、谷氨酰胺合成酶(GS)活性均高于 N21。在 2 个氮水平下,LW6010 的干物质重、NR 和 GS 活性均显著大于陇东苜蓿,而 LW6010 的氮含量显著低于陇东苜蓿。其中,LW6010 的 NR 活性比陇东苜蓿在 N210 和 N21 下分别高 24%和 15%(苗期)、31%和 40%(现蕾期)、20%和 11%(盛花期);GS 活性分别高 30%和 29%(苗期)、33%和 20%(现蕾期)、7%和 14%(盛花期)。在苗期和盛花期时,LW6010 的氮积累量显著大于陇东苜蓿,而在现蕾期差异不显著。LW6010 的氮积累量在 N210 下各生育期分别比陇东苜蓿高 25%,3%和 16%,而在 N21 下 LW6010 的氮积累量在苗期和盛花期下比陇东苜蓿高 45%和 12%。同时,紫花苜蓿干物质重、氮积累量、NR 活性与 GS 活性呈极显著正相关关系。综上分析,紫花苜蓿的不同品种在不同氮素水平下其氮代谢能力不同,不同紫花苜蓿品种间氮代谢具有差异;LW6010 较陇东苜蓿具有较好的氮代谢能力;NR 和 GS 活性可为不同紫花苜蓿氮代谢差异评价提供参考。

关键词:紫花苜蓿;氮代谢;NR 活性;GS 活性

中图分类号:S54;S154.3

文献标志码:A

文章编号:1009-5500(2019)04-0058-07

氮是植物生长必需的营养元素,氮素供应在粮饲增产中的贡献率高达 50%,也是作物高产的养分限制因子,对维持和调节作物形态、生理和产量等方面具有重要作用^[1]。生产中氮肥利用率低,不仅造成生产成本的增加,而且带来环境的污染。因此,如何在作物生

产中最大限度地提高氮肥利用率,充分发挥氮肥对作物的增产作用,又不对当地自然环境造成危害,是当前作物生产持续发展的重要议题之一。近年来研究表明,作物品种(基因型)对氮素的吸收和利用存在着明显的差异,选育氮代谢能力高的品种已成为提高氮素利用率的有效途径^[2]。王琳琳等^[3]分析了小麦氮代谢相关指标的遗传与表达差异,表明不同氮代谢能力的小麦品种在生理和分子水平上也具有差异;杨睿等^[4]通过对 50 个甘蓝型油菜氮利用效率的筛选,明确了不同基因型油菜具有不同氮代谢及生理上的差异;刘巧真等^[5]对不同烤烟品种苗期生物学特性及氮代谢差异进行研究,表明不同的烤烟品种具有不同的物质合成和氮素同化积累能力,诸多研究说明不同作物的不同品种具有不同的氮代谢能力。据此,充分利用作物自身的营养遗传特性,挖掘作物本身氮代谢的潜力,培育

收稿日期:2019-05-05; **修回日期:**2019-07-02

基金项目:甘肃农业大学“省级大学生创新创业训练计划”项目(201710733011);甘肃省现代农业产业技术体系-草食畜产业技术体系(GARS-CS-3);甘肃省草原技术推广总站项目(XMXZGSNDXY 201802)资助

作者简介:张辉辉(1995-),男,甘肃定西人,草业科学本科生。

E-mail:2271484220@qq.com

刘晓静为通讯作者。

E-mail:liuxj@gsau.edu.cn

对氮素利用率高的品种是合理利用资源、减少环境污染和降低投入的一条重要途径。

植物吸收无机氮后,需要通过氮代谢途径将其转化成可利用的有机氮。作物的氮代谢途径必须经过一系列的氮代谢酶的参与和转化来完成^[2]。硝酸还原酶(nitrate reductase, NR)是氮素代谢的关键酶,作为植物体内 NO_3^- 重要的限速和调节酶,它的活性决定了 NO_3^- 的利用效率,而 NO_3^- 作为 NR 的底物又对其活性有反馈作用^[6]。谷氨酰胺合成酶(glutamine synthetase, GS)是参与氮同化过程的关键酶,也是氮代谢中心的多功能酶,承担氮代谢的中心作用^[7]。植物吸收利用的全部氮素都要经过 NR 和 GS 的催化,因此 NR 和 GS 对氮素的吸收和转化起着重要作用,并与作物的产量和品质有密不可分的联系。黄伟超等^[8]报道,高的氮代谢玉米品种具有高的 NR 和 GS 活性^[8]。熊淑萍等^[9]研究也报道,氮代谢能力高的小麦品种具有高的 GS 和 NR 活性。周健飞等^[10]对不同基因型烤烟开展了生理机理差异研究,表明氮代谢高的品种往往具有更高的生物量和 GS 活性,尤其是在低氮条件下更加明显。叶利庭等^[11]以不同氮效率水稻基因型为供试材料,结果表明 NR 和 GS 活性与功能叶和茎秆的氮代谢能力呈显著正相关,尤其是 GS 活性高是筛选水稻氮高效的重要指标。因此,研究不同作物品种氮代谢关键酶活性的差异可以反应其氮代谢的不同。

紫花苜蓿(*Medicago sativa*)不仅可以吸收土壤中的矿物质氮,而且可以通过根瘤固定空气中的游离态的氮。与禾本科作物相比,其对氮素的吸收利用较为复杂。紫花苜蓿的氮代谢能力对其生产性能及营养价值的反馈作用是通过氮代谢相关酶形成循环代谢系统的作用。氮素水平对植物氮代谢关键酶活性的影响因植物种类和生育时期的不同而异。目前,有关氮代谢研究多见于水稻(*Oryza sativa*)^[13]、小麦(*Triticum aestivum*)^[14]、大豆(*Glycine max*)^[15]、甜菜(*Beta vulgaris*)^[16]等作物,不同氮水平对紫花苜蓿的影响研究多在产量和品质方面,而对其氮代谢相关酶活及氮积累的综合影响鲜有报道。通过对不同氮素水平下不同紫花苜蓿品种间的氮代谢差异及相关氮代谢酶的变化进行研究,为后续紫花苜蓿氮代谢差异机制的研究以及高的氮代谢品种筛选提供参考价值。

1 材料和方法

1.1 供试材料

紫花苜蓿 LW6010,由北京猛犸种业有限公司提供;陇东苜蓿,由甘肃农业大学提供。中华根瘤菌 12531,由甘肃农业大学提供。

1.2 试验设计

试验在甘肃农业大学防雨室进行,于 2015 年 4 月 20 日选用饱满均一的紫花苜蓿种子,经 70%酒精消毒 10 min,纯水冲洗 3 次后,播种至直径 32 cm、高 20 cm 装有灭菌沙的营养钵中,待幼苗长至 3 cm 时进行间苗,每盆保留 50 株健壮幼苗。长至 2 叶 1 心时,进行不同水平的供氮处理。试验以 Hoagland-Arnon 营养液为基本营养液,调节营养液 pH 为 7,以 NO_3^- : $\text{NH}_4^+ - \text{N} = 1:1$ 为氮源,设低氮(2.1 mg/L)和正常氮(210 mg/L)2 个水平,分别以 N21 和 N210 表示,重复 3 次。用蒸馏水每周进行冲洗,至沙子中积累的盐分冲洗干净后再重新浇入营养液。长至 3 片复叶时,每盆接种根瘤菌液 25 mL。在 2015 年 5 月 25 日(苗期),6 月 15 日(现蕾期)和 7 月 1 日(初花期)进行取样。取样时,将紫花苜蓿茎叶从根部剪断,进行干物质重和氮积累量的测定;并将植株上的叶片用镊子快速取下放入 -20°C 的冰箱储存。

1.3 测定指标

地上干物质重采用烘干法测定,单位 mg/株。

地上氮含量采用半微量凯式定氮法测定全氮含量^[17],单位 %。

地上干物质重与地上氮含量的乘积为地上氮积累量,单位 mg/株。

硝酸还原酶参照文献^[18]的方法测定,单位 $\mu\text{g}/(\text{g FW} \cdot \text{h})$ 。

谷氨酰胺合成酶参照文献^[18]的方法测定,单位 $\mu\text{mol}/(\text{g FW} \cdot \text{h})$ 。

1.4 数据分析

试验数据使用 Excel 2007 软件整理后,采用 SPSS 19.0 软件进行单因素方差分析(ANOVA)和 pearson 相关性分析(双侧检验),显著性水平设定为 $P < 0.05$ 。

2 结果与分析

2.1 干物质重

2 种紫花苜蓿的干物质重随生育期的推进而不断

增大(图 1)。LW6010 与陇东苜蓿的干物质重在 N210 下均显著高于 N21 下($P<0.05$)。LW6010 与陇东苜蓿的干物质重在 N210 下比 N21 分别提高了 53%和 66%(苗期),21%和 13%(现蕾期),36%和 25%(盛花期)。LW6010 的干物质重在 N210 和 N21 下均表现为 LW6010 显著高于陇东苜蓿($P<0.05$)。在 N210 下,LW6010 的干物质重在苗期、现蕾期和盛花期分别比陇东苜蓿高 33%,16%和 30%;在 N21 下,分别高 51%,7%和 18%。

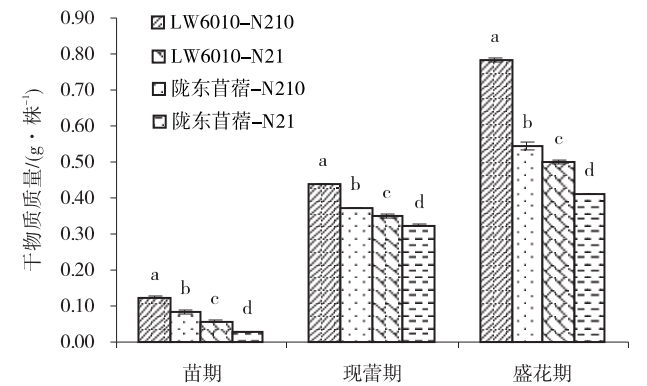


图 1 2 个紫花苜蓿品种的干物质重

Fig. 1 Effect of different nitrogen levels on dry matter in two alfalfa cultivars

注:不同小写字母代表同一生育期下不同处理间差异显著($P<0.05$),下同

2.2 氮含量及氮积累量

LW6010 和陇东苜蓿的氮含量在 N210 处理下均显著大于 N21($P<0.05$)。在不同的氮素水平下,氮含量均表现为陇东苜蓿显著大于 LW6010($P<0.05$) (图 2)。LW6010 和陇东苜蓿的氮积累量在 N210 和 N21 下有显著差异,即 N210 显著大于 N21 ($P<0.05$)。其中,在苗期、现蕾期和盛花期,LW6010 的氮积累量在 N210 下比 N21 下分别高 70%,34%和 42%;陇东苜蓿分别高 78%,32%和 40%。苗期和盛花期时,LW6010 的氮积累量在 2 个氮水平下均显著大于陇东苜蓿($P<0.05$);而现蕾期时,LW6010 与陇东苜蓿差异不显著。在 N210 下,LW6010 的氮积累量在 3 个生育期下分别比陇东苜蓿高 25%,3%和 16%。而在 N21 下,LW6010 的氮积累量在苗期和盛花期下比陇东苜蓿提高 45%和 12%,而在现蕾期下降 0.5%(图 3)。

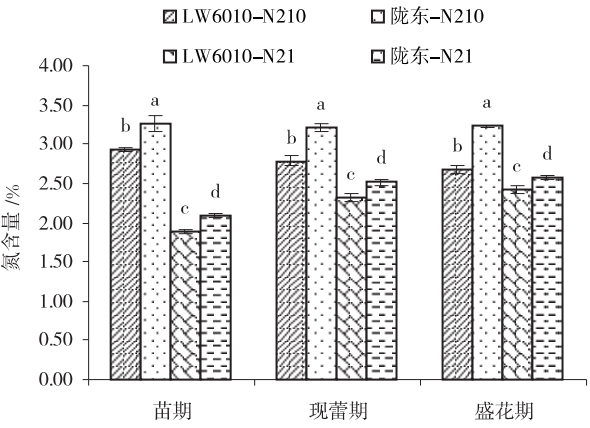


图 2 2 个紫花苜蓿品种地上氮的含量

Fig. 2 Effect of different nitrogen levels on nitrogen content in two alfalfa cultivars

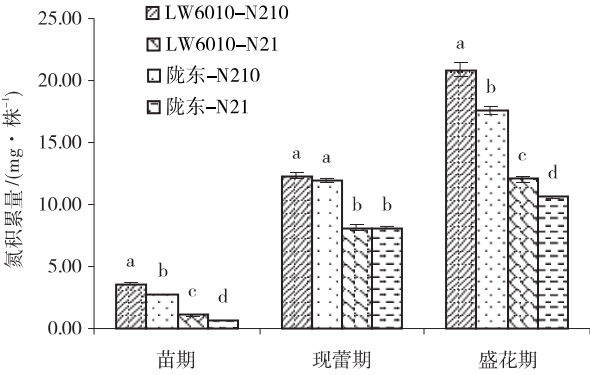


图 3 2 个紫花苜蓿品种地上氮的积累量

Fig. 3 Effect of different nitrogen levels on nitrogen accumulation in two alfalfa cultivars

2.3 NR 活性

2 个紫花苜蓿的 NR 活性随生育期的推进而不断增大。苗期和盛花期,LW6010 的 NR 活性在 N210 下显著大于 N21;苗期和现蕾期,陇东苜蓿的 NR 活性在 N210 水平下显著大于 N21($P<0.05$)。在 3 个时期的 2 个氮素水平下,NR 活性均表现为 LW6010 显著大于陇东苜蓿($P<0.05$)。其中,LW6010 的 NR 活性比陇东苜蓿在 N210 和 N21 下分别高 24%和 15%(苗期)、31%和 40%(现蕾期)、20%和 11%(盛花期) (图 4)。

2.4 GS 活性

苗期时,LW6010 的 GS 活性在 N210 下显著大于 N21;苗期和盛花期时,陇东苜蓿的 GS 活性在 N210 下显著大于 N21($P<0.05$)。苗期的 N210 和 N21,现蕾期的 N210 和初花期的 N21 下,LW6010 的 GS 活性显著大于陇东苜蓿($P<0.05$) (图 5)。其中,LW6010 的 GS 活性比陇东苜蓿在 N210 和 N21 下分别高 30%

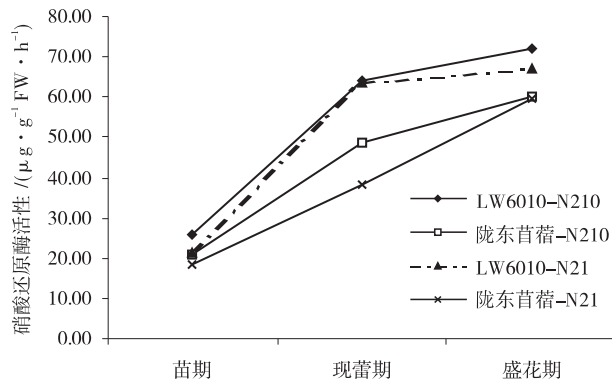


图 4 2 种紫花苜蓿品种的 NR

Fig. 4 Effect of different nitrogen levels on NR in two alfalfa cultivars

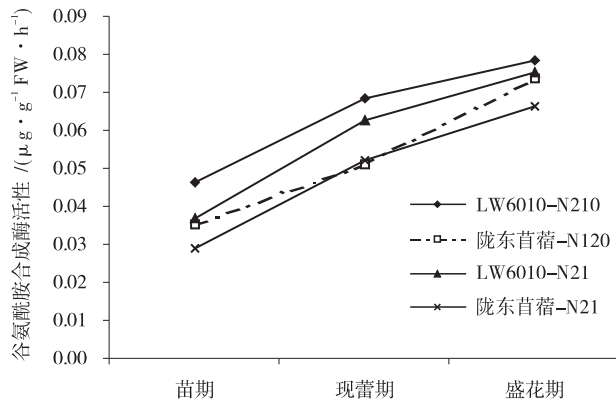


图 5 2 种紫花苜蓿品种的 GS

Fig. 5 Effect of different nitrogen levels on GS in two alfalfa cultivars

和 29% (苗期)、33% 和 20% (现蕾期)、7% 和 14% (盛花期)。

2.5 氮代谢及其酶的相关性

干物质重、氮积累量、NR 活性和 GS 活性两两之间均呈极显著正相关关系 ($P < 0.01$), 氮含量与氮积累量差异显著, 而与干物质重、NR 活性和 GS 活性差异不显著 (表 1)。

表 1 各指标的相关性

Table 1 Correlation analysis of parameters

	干物质重	氮含量	氮积累量	NR 活性	GS 活性
干物质重	1				
氮含量	0.255	1			
氮积累量	0.980**	0.389*	1		
NR 活性	0.921**	0.145	0.878**	1	
GS 活性	0.921**	0.203	0.888**	0.935**	1

注: * 代表差异显著, ** 代表差异极显著

3 讨论

不同氮素浓度下紫花苜蓿的氮代谢产物及氮代谢酶活性不同。植物对氮素的吸收, 同化和还原都是通过体内氮代谢途径来完成的, 其途径是由氮代谢相关酶来参与调节, 进而影响其产量和品质。利用紫花苜蓿在氮代谢方面的优势, 对于获得高产高质的紫花苜蓿品种具有重要意义。LW6010 和陇东苜蓿的氮代谢产物及氮代谢酶活性均在 N210 处理下高于 N21, 说明紫花苜蓿对不同氮素浓度的响应不同, 其氮代谢产物及氮代谢酶活性的大小与氮素浓度相关。这是由于增加氮素营养可以提高植株对氮素的吸收能力, 并提高植株体内氮素的含量, 进而激发氮代谢相关酶活性将无机态的氮转化为有机态的氮, 从而促进植株的生长, 增加植株体内的氮素积累。邸伟等^[15]研究表明, 施氮可增加大豆体内的氮积累量及产量。耿素祥等^[19]研究发现, 施氮条件下烤烟碳氮代谢关键酶活性高于不施氮。马东辉等^[20]对小麦的研究表明, 其旗叶和子粒的 NR 和 GS 活性表现为随着施氮量的增加而升高。课题组前期研究证实, 紫花苜蓿的氮代谢能力随着氮浓度的增加先增加后减小, 在 N210 时最佳^[21], 说明紫花苜蓿虽然可以通过自身固氮, 但仍需外源氮来维持自身的良好生长, 因此, 对紫花苜蓿的氮代谢进行研究是有必要的。

不同紫花苜蓿品种在不同氮素浓度下其氮代谢产物及氮代谢酶活性表现不同。LW6010 和陇东苜蓿的干物质重和氮积累量在不同的氮素水平下均有差异, 表明紫花苜蓿品种间具有氮代谢的差异, 这与小麦、大豆等作物的研究结果一致^[22-23], 即同一作物的不同品种间存在氮代谢的差异。LW6010 的干物质重显著高于陇东苜蓿, 其氮含量显著低于陇东苜蓿, 而氮积累量在苗期和盛花期显著高于陇东苜蓿。说明紫花苜蓿的品种在氮营养的利用能力上存在着明显的遗传多样性^[6]。这是由于不同的紫花苜蓿品种对氮素的固定能力, 吸收能力和转化能力不同所造成的, 因而不同的紫花苜蓿品种在不同的氮浓度下其氮代谢的表现不同, 因而造成氮代谢产物的差异。曾建敏等^[24]认为不同基因型水稻的氮代谢相关酶活性不同。研究中, LW6010 的 NR 和 GS 活性均显著大于陇东苜蓿, 说明紫花苜蓿氮代谢能力强的品种其 NR 和 GS 活力也高, 即 NR 和 GS 也可作为诊断紫花苜蓿氮代谢的生

理指标,同时也表明紫花苜蓿 NR 和 GS 的活性与氮代谢间存在着紧密联系。LW6010 具有更高的干物质重及氮积累量是因为其具有较高的 NR 和 GS 活性,从而促进了紫花苜蓿对氮素的吸收与同化,提高整个氮代谢能力。曾建敏等^[24]对水稻的研究、李淑文等^[25]对小麦的研究、田松等^[26]对茄子(*Solanum melongena*)的研究均表明氮代谢能力强的品种其 NR 和 GS 活力也高。这些现象主要是由于其较强的氮代谢酶活性使植株体内的氮素同化和代谢速率得到改善所致。试验表明 NR 和 GS 等氮代谢相关酶活性高低与氮代谢能力强弱有关,氮代谢相关酶活性在一定程度上可以反映作物紫花苜蓿氮营养状况和氮素同化水平,直接决定了作物氮积累量^[27]。陈范骏等^[28]报道作物高效利用氮素有两种表现,一是氮积累量,二是干物质重。研究中,LW6010 的干物质重和氮积累量均优于陇东苜蓿,并且 LW6010 的氮代谢酶活性也高于陇东苜蓿,因此,LW6010 具有较好的氮代谢能力。

研究中,紫花苜蓿的干物质重、氮积累量、NR 活性与 GS 活性均极显著正相关,说明紫花苜蓿氮代谢酶活性的大小可以判断其氮代谢能力的强弱。对不同作物品种耐低氮能力的研究表明,小麦的氮代谢能力与 NR 活性呈正相关^[29]。黄高宝等^[30]报道,可将 NR 作为衡量玉米(*Zea mays*)氮代谢高低的一个指标。GS 处于氮代谢中心,参与多种氮代谢的调节,其活性提高可带动氮代谢运转增强,促进氨基酸合成和转化^[31]。曾建敏等^[24]研究中,GS 活性与收获时生物量呈显著或极显著正相关。Peng 等^[32]研究中的 GS 活性氮肥利用效率具有显著的相关性。孙永健等^[33]研究认为水稻各生育期功能叶 GS 活性作为判断水稻各生育期氮素累积量的指标。因此,在供氮水平相同条件下,选择具有较高活性的 NR 及 GS 品种也是对具有较高氮代谢作物的有效选择^[34]。NR、GS 活性可为不同紫花苜蓿氮代谢差异评价提供参考。

4 结论

不同紫花苜蓿品种在不同氮素水平下其氮代谢能力不同,其中正常氮水平下紫花苜蓿干物质重、氮含量、氮积累量及 NR、GS 酶活性均大于低氮水平,LW6010 的干物质重、氮积累量及 NR、GS 酶活性均优于陇东苜蓿,说明紫花苜蓿虽可以共生固氮,但仍然存在氮代谢差异,并且 LW6010 具有较好的氮代谢能力;

紫花苜蓿干物质重、氮含量、氮积累量及 NR、GS 酶活性间表现为极显著相关关系,因而 NR、GS 活性可为不同紫花苜蓿氮代谢差异评价提供参考。

参考文献:

- [1] Edith T, Lammerts van B, Kristian T K, *et al.* Breeding for nitrogen efficiency: concepts, methods, and case studies[J]. *Euphytica*, 2014, 199(1-2): 1-2.
- [2] 于铁峰, 刘晓静, 张晓玲, 等. 氮素对紫花苜蓿根茎叶氮含量及硝酸还原酶活性的影响[J]. *草原与草坪*, 2017, 37(5): 14-20.
- [3] 王琳琳, 王平, 王振林, 等. 小麦亲本及其杂交后代苗期氮代谢相关指标的遗传与表达差异[J]. *中国农业科学*, 2014, 47(12): 2300-2312.
- [4] 杨睿, 伍晓明, 安蓉, 等. 不同基因型油菜氮素利用效率的差异及其与农艺性状和氮营养性状的关系[J]. *植物营养与肥料学报*, 2013, 19(3): 586-596.
- [5] 刘巧真, 陈廷贵, 闫小毛, 等. ‘豫烟 9 号’和‘中烟 100’苗期生物学特性及氮代谢差异研究[J]. *中国农学通报*, 2017, 33(5): 35-39.
- [6] 张洋, 张继, 强晓敏, 等. 不同氮效率基因型冬小麦生理特征的比较研究[J]. *植物营养与肥料学报*, 2010, 16(6): 1319-1324.
- [7] 王嘉文, 吴刚, 徐云敏. 谷氨酰胺合成酶在植物氮同化及再利用中的研究进展[J]. *分子植物育种*, 2019, 17(4): 1373-1377.
- [8] 黄伟超, 范宇博, 顾万荣, 等. 不同氮效率基因型玉米物质积累及氮代谢相关酶活性的差异[J]. *安徽农业科学*, 2017, 45(34): 22-26, 36.
- [9] 熊淑萍, 吴克远, 王小纯, 等. 不同氮效率小麦品种苗期根系氮代谢及其吸收能力差异分析[J]. *麦类作物学报*, 2016, 36(3): 325-331.
- [10] 周健飞, 武云杰, 薛刚, 等. 烤烟成熟期烟叶 GS 同工酶活性与氮素运转的关系[J]. *作物学报*, 2019, 45(1): 111-117.
- [11] 叶利庭, 吕华军, 宋文静, 等. 不同氮效率水稻生育后期氮代谢酶活性的变化特征[J]. *土壤学报*, 2011, 48(1): 132-140.
- [12] 李满红, 师尚礼, 张英俊, 等. 甘肃陇东地区紫花苜蓿草地土-草矿质养分含量及其相关性[J]. *草原与草坪*, 2018, 38(3): 79-84.
- [13] 宁书菊, 窦慧娟, 陈晓飞, 等. 水稻生育后期根系氮代谢生理活性变化的研究[J]. *中国生态农业学报*, 2009, 17(3): 506-511.
- [14] 马东辉, 王月福, 赵长星, 等. 施氮量和花后土壤含水量

- 对小麦氮代谢特性和籽粒蛋白质含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(6): 1035—1041.
- [15] 邸伟, 金喜军, 马春梅, 等. 施氮水平对大豆氮素积累与产量影响的研究[J]. 核农学报, 2010, 24(3): 612—617.
- [16] 杜永成, 王玉波, 范文婷, 等. 不同氮素水平对甜菜硝酸还原酶和亚硝酸还原酶活性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2013, 18(3): 717—723.
- [17] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法[M]. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [18] 邹琦. 植物生理学实验指导[M]. 北京: 中国农业出版社, 2006.
- [19] 耿素祥, 王树会, 刘卫群. 不同施氮条件对烤烟打顶前后代谢及物质积累的影响[J]. 中国生态农业学报, 2011, 19(6): 1250—1254.
- [20] 马东辉, 王月福, 赵长星, 等. 施氮量和花后土壤含水量对小麦氮代谢特性和籽粒蛋白质含量的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2008, 14(6): 1035—1041.
- [21] 冯博政, 刘晓静, 郝凤. NO_3^- 和 NH_4^+ 混合氮不同水平对紫花苜蓿生长特性的影响[J]. 草原与草坪, 2015, 35(6): 35—40.
- [22] 杜保见, 郜红建, 常江, 等. 小麦苗期氮素吸收利用效率差异及聚类分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(6): 1349—1357.
- [23] 刘亚丽, 栾怀海, 何琳, 等. 不同基因型大豆植株氮素积累变化动态研究[J]. 黑龙江农业科学, 2014(3): 30—34.
- [24] 曾建敏, 崔克辉, 黄见良, 等. 水稻生理生化特性对氮肥的反应及与氮利用效率的关系[J]. 作物学报, 2007, 33(7): 1168—1176.
- [25] 李淑文, 文宏达, 周彦珍. 不同氮效率小麦品种氮素吸收和物质生产特性[J]. 中国农业科学, 2006, 39(10): 1992—2000.
- [26] 田松, 银婷, 陈雪平, 等. 不同氮效率茄子基因型及其杂种 F1 的氮素吸收特性[J]. 植物营养与肥料学报, 2011, 17(1): 147—153.
- [27] 蔺世召. 施氮量对不同小麦品质氮代谢及产量的影响[D]. 郑州: 河南农业大学, 2011.
- [28] 陈范骏, 米国华, 春亮. 玉米氮效率的杂种优势分析[J]. 作物学报, 2004, 30(): 1014—1018.
- [29] 刘代平, 宋海星, 刘强, 等. 不同施氮水平下油菜地上部生理特性研究[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2008, 34(1): 100—104.
- [30] 黄高宝, 张恩和, 胡恒觉. 不同玉米品种氮素营养效率差异的生态生理机制[J]. 植物营养与肥料学报, 2001, 7(3): 293—297.
- [31] 樊剑波. 不同氮效率基因型水稻氮素吸收和根系特征研究[D]. 南京: 南京农业大学, 2008.
- [32] Peng S B, Huang J L, Zhong X H, *et al.* Challenge and opportunity in improving fertilizer-nitrogen use efficiency of irrigated rice in China[J]. *Agricultural Science China*, 2002, 1(7): 776—785.
- [33] 孙永健, 孙园园, 李旭毅, 等. 水氮互作下水稻氮代谢关键酶活性与氮素利用的关系[J]. 作物学报, 2009, 35(11): 2055—2063.
- [34] 董玥, 陈雪平, 罗双霞, 等. 不同氮效率茄子氮代谢相关酶活性的差异[J]. 华北农学报, 2009, 24(6): 158—160.

Nitrogen metabolism and nitrogen metabolism enzymes (NR, GS) activity in two alfalfa cultivars

ZHANG Hui-hui, ZHAO Ya-jiao, LIU Xiao-jing, LI Zhen-xia

(College of Grassland Science, Gansu Agricultural University/Key Laboratory for Grassland Ecosystem of Ministry of Education/Pratacultural Engineering Laboratory of Gansu Province/Sino U. S. Centers for Grazing Land Ecosystem Sustainability, Lanzhou 730070, China)

Abstract: In order to identify the mechanism of nitrogen metabolism in different alfalfa cultivars (LW6010 and Longdong), nutrition sand culture experiment was used to study the changes of nitrogen metabolism and nitrogen metabolism enzymes activity under two nitrogen levels at three growth periods. In addition, the relationship between nitrogen metabolism and nitrogen metabolism enzyme activity was also examined. The results

showed that dry matter, nitrogen content, nitrogen accumulation, NR and GS activities of alfalfa under N210 were higher than those under N21. Dry matter, NR and GS activity of LW6010 were significantly higher than those of Longdong; however, nitrogen content of LW6010 was significantly lower than that of Longdong. NR activities of LW6010 under N210 and N21 were increased by 24% and 15% (seedling stage), 31% and 40% (budding stage), 20% and 11% (flowering stage) compared with Longdong. Similarly, GS activities of LW6010 under N210 and N21 were increased by 30% and 29% (seedling stage), 33% and 20% (budding stage), 7% and 14% (flowering stage) compared with Longdong. Nitrogen accumulation of LW6010 was significantly higher than that with Longdong at seedling stage and flowering stage. Nitrogen accumulation of LW6010 under N210 was increased by 25%, 3% and 16% at three growth stages. Nitrogen accumulation of LW6010 under N21 was increased by 45% and 12% at seedling stage and flowering stage. At the same time, there was a significant positive correlation between dry weight, nitrogen accumulation, NR activity and GS activity of alfalfa. In general, different alfalfa cultivars have different nitrogen metabolism capacity under different nitrogen levels. LW6010 has higher nitrogen metabolism capacity than Longdong. NR and GS activities can be used as evaluation parameters to evaluate differences in nitrogen metabolism of alfalfa, which can provide a reference for further breeding of alfalfa cultivars with high nitrogen metabolism.

Key words: alfalfa; nitrogen metabolism; NR activity; GS activity

+++++

(上接 57 页)

Grassland ecological factors on industrial disturbance response law research

XING En-de, HE Jing-li, ZHANG Tie-gang, TIAN Xiu-min

(Institute of Water Resources for Pastoral Area of the Ministry of Water Resources of China, Hohhot 010020)

Abstract: In order to understand the influence of Shengli Coal Mine in Xilinguole Grassland Inner Mongolia on vegetation coverage, aboveground biomass, soil moisture and groundwater level of surrounding grassland during mining, field positioning monitoring was used to investigate and measure the changes of vegetation coverage, aboveground biomass, soil moisture and groundwater level. The results showed that the vegetation coverage increases with the distance from the open pit and dumping site, and the influence of coal mining on vegetation coverage was within 4.0 km. The plant biomass also increases. The biomass of the affected grassland around the coal mine decreases by 13%~36% compared with that of the control area (not affected by the coal mine). There is no significant difference in the influence of coal mining on the soil water content in the horizontal direction of surrounding grassland, and the change of soil water content is mainly reflected in the vertical direction. Influenced by the drainage and drainage of drainage water from coal mining, the groundwater level around the mining area shows a downward trend throughout the year.

Key words: open-cast coal; vegetation coverage; soil water content; groundwater level