

# 低磷土壤条件对不同苜蓿品种的生长和磷效率的影响

张文杰, 杨亮, 张龙骥, 曾国祖, 蒋瑞雪, 姜智英, 李亚娟

(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:**为探究不同苜蓿品种对低磷土壤条件的适应性,以甘农3号、甘农5号、甘农9号、甘农10号、WL358HQ、WL343HQ、WL363HQ、WL354HQ、金皇后9个苜蓿品种为研究对象,采用盆栽试验方法,对不同苜蓿品种的株高、生物量、磷含量、磷吸收和利用效率进行了研究,并采用灰色关联度对不同品种苜蓿的表现进行综合评价。结果表明:低磷条件下,结合鲜重和干重,WL343HQ品种生长速度较其他品种快;9个苜蓿品种的磷含量排序为:甘农10号>WL354HQ>WL343HQ>WL358HQ>WL363HQ>金皇后>甘农3号>甘农5号>甘农9号;WL343HQ磷吸收效率最高,为1.32 mg/pot,金皇后最低,为0.58 mg/pot,总体表现为WL343HQ>WL358HQ>甘农5号>甘农9号>WL363HQ>甘农10号>甘农3号>WL354HQ>金皇后;甘农3号磷利用效率最高,为0.84 g/mg,甘农10号最低,为0.53 g/mg。灰色关联度综合评价得出WL343HQ、WL358HQ、WL354HQ和甘农5号为低磷土壤条件下表现较好的4个品种,适宜在土壤有效磷含量较低的土壤上种植。

**关键词:**低磷土壤;苜蓿;生物量;磷含量;磷效率

**中图分类号:**S541.9 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2021)06-0081-07

**DOI:** 10.13817/j.cnki.cyyep.2021.06.012



苜蓿(*Medicago Sativa*)是一种品质优良的多年生豆科牧草,由于其有产量高、品质好、对环境适应能力强等特点,被称作“牧草之王”,是全球人工种植面积最大的栽培牧草<sup>[1]</sup>。同时,苜蓿根系发达,生物固氮能力强,具有抗干旱、抗瘠和防治水土流失的作用,在生产、生态建设中具有关键地位<sup>[3]</sup>。苜蓿在我国产业化种植已经初具规模,但苜蓿草产品依然供不应求<sup>[4]</sup>。苜蓿属于喜磷作物,磷是确保苜蓿正常生长、提高苜蓿产量和品质的重要元素<sup>[7]</sup>。研究表明,磷元素对苜蓿的分枝、花序数、干物质累积、种子产量等动态变化均

具有重要影响<sup>[6]</sup>。土壤有效磷含量不足对苜蓿的株高、光合效率等指标具有重大影响,使苜蓿的产量降低<sup>[7]</sup>,缺磷会使苜蓿对氮、钾的吸收效率明显降低<sup>[9]</sup>。磷元素通过对苜蓿体内的生理调节,使其抗逆性得到提高,保证了产量和品质。

磷在土壤中有移动性差和表面富集的特点,致使深层根系无法充分吸收磷。土壤中的磷包括有机磷和无机磷,有机磷是植物无法直接吸收的无效磷,土壤中的无机磷易形成难溶化合物,只有一小部分能被植物吸收利用,称为土壤有效磷<sup>[10]</sup>。据统计,全世界耕地中约有43%的土壤缺磷,而苜蓿生产所需有效磷为10~15 mg/kg<sup>[11]</sup>。植物的磷效率是指在磷限制土壤上,作物通过自身对磷的吸收和利用获得高产的能力,由于研究目的不同,故磷效率的衡量标准也不同。Batten等<sup>[12]</sup>和邢宏燕等<sup>[13]</sup>将产量作为衡量磷效率的主要标准,而Graham<sup>[14]</sup>利用生物量衡量磷效率的高低。植物对磷的吸收效率是指植物的磷吸收量,表明植物

收稿日期:2021-10-28; 修回日期:2021-12-03

基金项目:甘肃农业大学“大学生科研训练计划(SRTP)”项目(202102049);甘肃省高校教师创新能力提升项目(2019B-071)

作者简介:张文杰(2000-),甘肃白银人,本科生。

E-mail:3014952357@qq.com

李亚娟为通信作者。E-mail:liyj@gsau.edu.cn

从介质中获取磷的能力,用植株全磷含量表示(即吸磷量)<sup>[15-16]</sup>。磷利用效率是指植株体内积累的磷所能产生的最大生物量,用植物体内单位磷所产生的植株干物质的量表示。不同作物和同种作物的不同基因型之间的磷吸收利用效率都存在差异,筛选低磷条件下能高效吸收磷的苜蓿品种对生产具有重大意义。因此,本研究采用盆栽试验,以9种不同品种苜蓿为研究对象,在低磷土壤条件下,从苜蓿的生长状况及磷效率方面评价各品种的差异性,筛选出低磷条件下生长最好的苜蓿品种,为苜蓿栽培中品种选择和养分管理提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

供试紫花苜蓿品种共有9个,分别是甘农3号(*M. sativa* cv. Gannong No. 3)、甘农5号(*M. sativa* cv. Gannong No. 5)、甘农9号(*M. sativa* cv. Gannong No. 9)、甘农10号(*M. sativa* cv. Gannong No. 10)、金皇后(*M. sativa* cv. Golden empress)、WL358HQ(*M. sativa* cv. WL358HQ)、WL343HQ(*M. sativa* cv. WL343HQ)、WL363HQ(*M. sativa* cv. WL363HQ)和WL354HQ(*M. sativa* cv. WL354HQ),其中,甘农3号、甘农5号、甘农9号、甘农10号和金皇后5个品种由甘肃农业大学草业学院提供,为本地试验和大田种植品种,WL系列品种从北京正道种业公司购买,为国外引进品种,本研究选用以明确其在本地低磷土壤上的适应性。供试肥料为尿素(含N46%),硫酸钾(含K<sub>2</sub>O 52%),购于肥料市场。

供试土壤采自甘肃农业大学校园牧草实训基地,土壤基本理化性质为有效磷含量5.25 mg/kg,碱解氮含量115.02 mg/kg,有机质含量21.1g/kg,pH值8.1(2.5:1水土比)。

### 1.2 试验方法

本试验在甘肃农业大学实验室进行,采用土培盆栽法,花盆直径25 cm,高20 cm,每盆装土1.5 kg,各处理氮肥、钾肥施用量一致,每千克土壤施氮0.3 g,即每盆施用尿素(含N 46%)0.98 g;施K<sub>2</sub>O 0.3 g,即每盆施用硫酸钾(含K<sub>2</sub>O 52%)0.87 g,所有处理均不施磷肥。每盆播10粒种子,9个品种重复种植3次,共种植27盆,浇水、管理条件一致,记录其生长状况,待苜蓿初花期,将其全部割下,风干磨碎后,测其生物量

和磷含量,并计算磷吸收效率及利用效率。从苜蓿的生长状况系统研究各指标的变化及其相关性。

### 1.3 测定指标与方法

在苜蓿苗期、旺盛生长期和收获期分别测定第1茬苜蓿生长指标。

1.3.1 株高 植株的绝对高度。在刈割前,每隔5天测量每盆植株1次。测量时用卷尺测量植株顶端到地面的距离,并取其平均值。

1.3.2 生物量 地上部分生物量。在初花期刈割,留茬高度5 cm,称量每盆植株地上部分,记为鲜重;将草样于105 ℃杀青20 min,65 ℃烘至恒重称量,称量干重,依据公式干鲜比=干重/鲜重计算干鲜比。

1.3.3 植株磷含量 采用硫酸-硝酸和硝酸-高氯酸消化,钼蓝比色法测定<sup>[18]</sup>。磷吸收效率和磷利用效率采用下面公式计算。

磷吸收效率(mg/pot)=地上部生物量×磷含量

磷利用效率(g/mg)=地上部生物量/磷吸收效率<sup>[19]</sup>

### 1.4 数据分析

根据邓聚龙灰色系统理论,按灰色系统理论要求,将9个不同品种苜蓿在低磷条件下的综合生长状况和低磷条件下的5个指标视为一个整体,即灰色系统。将综合生长状况作为参考数列(母序列),各指标原始数据标准化处理后的值为比较数列(子序列),建立灰色系统,计算各指标与其综合生长状况的关联度,进行排序。采用Excel 2016软件整理数据并制图,采用SPSS 19.0软件进行数据统计分析。

## 2 结果与分析

### 2.1 低磷土壤条件不同苜蓿品种的农艺性状

2.1.1 株高 株高是反映植株生长发育状况和产量潜力的重要指标之一。第1茬各苜蓿品种株高随生长时间的增加而增加,总体长势良好。在最后一次测量株高时,WL343HQ品种的株高长势最大,不同苜蓿品种的株高排序是WL343HQ > WL354HQ > WL363HQ > 甘农5号 > WL358HQ > 甘农3号 > 甘农9号 > 甘农10号 > 金皇后,排名前三的品种株高分别是:WL343HQ为11.6 cm,WL354HQ为11.4 cm,WL363HQ为10.7 cm(图1)。

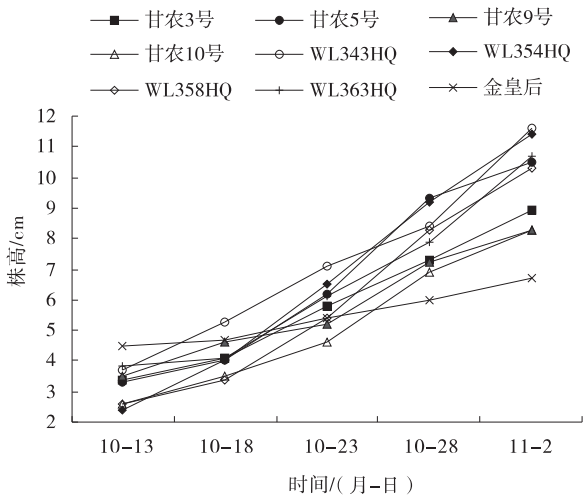


图 1 不同品种苜蓿株高

Fig. 1 Plant height of different alfalfa varieties

表 1 低磷条件下不同苜蓿品种的地上生物量及干鲜比

Table 1 Above-ground biomass of different alfalfa varieties under low soil phosphorus condition

| 苜蓿品种    | 鲜重/(g · pot <sup>-1</sup> ) | 干重/(g · pot <sup>-1</sup> ) | 干鲜比  |
|---------|-----------------------------|-----------------------------|------|
| 甘农 3 号  | 2.07 ± 0.16 <sup>e</sup>    | 0.51 ± 0.06 <sup>c</sup>    | 0.25 |
| 甘农 5 号  | 3.12 ± 0.12 <sup>c</sup>    | 0.55 ± 0.10 <sup>c</sup>    | 0.18 |
| 甘农 9 号  | 4.30 ± 0.22 <sup>a</sup>    | 0.61 ± 0.09 <sup>b</sup>    | 0.14 |
| 甘农 10 号 | 2.66 ± 0.15 <sup>d</sup>    | 0.50 ± 0.07 <sup>c</sup>    | 0.19 |
| WL343HQ | 3.97 ± 0.20 <sup>b</sup>    | 0.70 ± 0.11 <sup>a</sup>    | 0.18 |
| WL354HQ | 2.76 ± 0.16 <sup>d</sup>    | 0.44 ± 0.05 <sup>cd</sup>   | 0.16 |
| WL358HQ | 3.87 ± 0.12 <sup>b</sup>    | 0.64 ± 0.06 <sup>ab</sup>   | 0.17 |
| WL363HQ | 2.92 ± 0.17 <sup>c</sup>    | 0.41 ± 0.10 <sup>d</sup>    | 0.14 |
| 金皇后     | 2.01 ± 0.14 <sup>e</sup>    | 0.37 ± 0.08 <sup>d</sup>    | 0.18 |

注:表中同列数据后不同小写字母表示苜蓿品种之间差异显著( $P < 0.05$ )

## 2.2 低磷土壤条件下不同苜蓿品种的磷含量

磷含量可反映低磷介质条件下植物吸收磷素能力的差异。9 个苜蓿品种的植株磷含量排序为:甘农 10 号 > WL354HQ > WL343HQ > WL358HQ > WL363HQ > 金皇后 > 甘农 9 号 > 甘农 5 号 > 甘农 3 号,前三个品种的磷含量分别是:甘农 10 号 1.74 g/kg, WL354HQ 1.71 g/kg, WL343HQ 1.61 g/kg, 甘农 10 号与 WL354HQ 磷含量差异不显著( $P > 0.05$ ), 与 WL343HQ 差异显著( $P < 0.05$ )。甘农 3 号磷含量最低,为 1.20 g/kg(图 2)。

## 2.3 低磷土壤条件下不同苜蓿品种的磷效率

苜蓿从土壤中获取磷的能力称之为苜蓿的磷吸收效率,可用植株的吸磷量表示;磷利用效率是指植株体内积累的磷所能产生的最大生物量,可以用植物体内

2.1.2 生物量 不同苜蓿品种平均鲜重表现为:甘农 9 号 > WL343HQ > WL358HQ > 甘农 5 号 > WL363HQ > WL354HQ > 甘农 10 号 > 甘农 3 号 > 金皇后,甘农 9 号的鲜重为 4.30 g,而金皇后的鲜重仅为 2.01 g,甘农 9 号与 WL343HQ 之间差异显著( $P < 0.05$ ),WL343HQ 与 WL358HQ 之间、甘农 3 号与金皇后之间差异均不显著( $P > 0.05$ )(表 5)。

不同苜蓿品种干重表现为:WL343HQ > WL358HQ > 甘农 9 号 > 甘农 5 号 > 甘农 3 号 > 甘农 10 号 > WL354HQ > WL363HQ > 金皇后,WL343HQ 的鲜重为 0.70 g,金皇后的鲜重仅为 0.37 g。WL343HQ 与 WL358HQ 差异不显著,与甘农 9 号差异显著。干鲜比最大的是甘农 3 号,为 0.25,最小的是甘农 9 号,为 0.14。

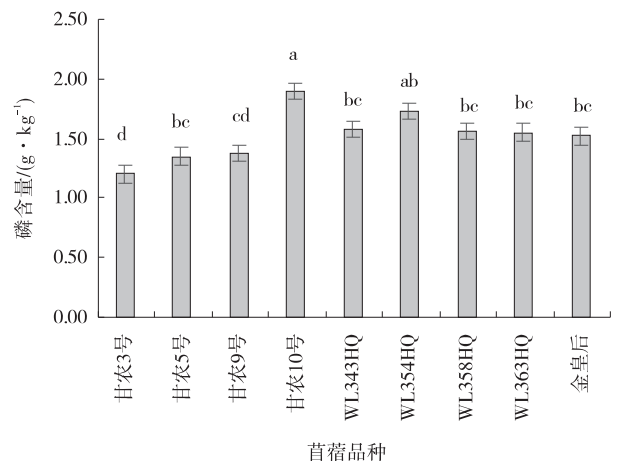


图 2 不同苜蓿品种的磷含量

Fig. 2 Plant phosphorus content of different alfalfa varieties

注:图中不同小写字母表示苜蓿品种之间差异显著( $P < 0.05$ )。下同

单位磷所产生的植株干物质的量来表示。品种 WL343HQ 的磷吸收效率显著高于其他品种 ( $P < 0.05$ ), 为 1.32 mg/pot; 磷吸收效率最低的品种是金皇后, 仅为 0.58 mg/pot (图 3)。甘农 3 号、甘农 5 号和甘农 9 号的磷利用效率较高, 与其他品种差异显著 ( $P < 0.05$ ), 甘农 3 号最高, 为 0.84 g/mg, 其次是甘农 5 号, 为 0.76 g/mg; 甘农 10 号的磷利用效率最低, 为 0.53 g/mg, 其余品种间差异不显著 (图 4)。

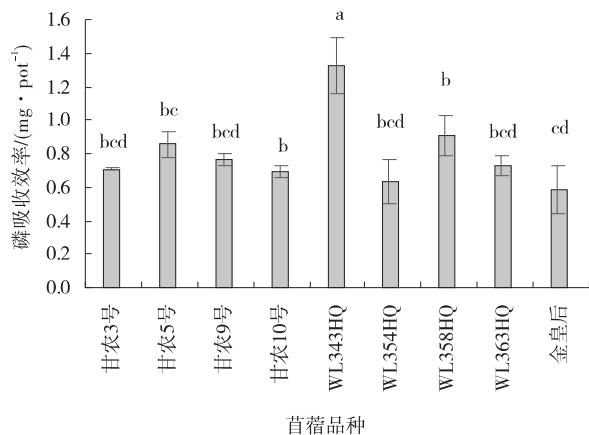


图 3 不同苜蓿品种的磷吸收效率

Fig. 3 Phosphorus uptake efficiency of different alfalfa varieties

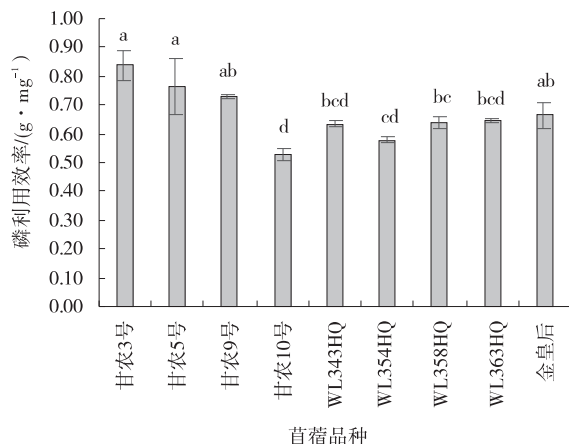


图 4 不同苜蓿品种的磷利用效率

Fig. 4 Phosphorus utilization efficiency of different alfalfa varieties

## 2.4 低磷条件下不同苜蓿品种综合评价

选择株高、生物量、磷含量、磷吸收效率、磷利用效率, 对所有品种计算关联系数及关联度。根据关联分析原则, 关联度越大的数列与参考数列相似程度就越高, 也就是关联度越大的品种综合性状越好。WL343HQ 等权关联度为 0.834 8, 加权关联度为 0.129 9, 排序第 1, 其次为 WL358HQ、WL354HQ 和

表 2 不同苜蓿品种关联系数及关联度

Table 2 Correlation coefficient and correlation degree of different alfalfa varieties

| 苜蓿品种    | 等权关联度   | 排序 | 加权系数    | 加权关联度   | 排序 |
|---------|---------|----|---------|---------|----|
| 甘农 3 号  | 0.574 6 | 5  | 0.107 1 | 0.061 5 | 5  |
| 甘农 5 号  | 0.596 4 | 4  | 0.111 1 | 0.066 3 | 4  |
| 甘农 9 号  | 0.555 7 | 7  | 0.103 5 | 0.057 5 | 7  |
| 甘农 10 号 | 0.573 4 | 6  | 0.106 9 | 0.061 3 | 6  |
| WL343HQ | 0.834 8 | 1  | 0.155 6 | 0.129 9 | 1  |
| WL354HQ | 0.597 1 | 3  | 0.111 3 | 0.066 4 | 3  |
| WL358HQ | 0.624 0 | 2  | 0.116 3 | 0.072 6 | 2  |
| WL363HQ | 0.550 6 | 8  | 0.102 6 | 0.056 5 | 8  |
| 金皇后     | 0.457 2 | 9  | 0.085 2 | 0.038 9 | 9  |

甘农 5 号 (表 2)。因此, 以上 4 个苜蓿品种较为适合在低磷土壤地区推广种植。

## 3 讨论

本研究表明, 在土壤有效磷水平较低的情况下, WL343HQ 的株高、干草产量最高, 表明其在低磷土壤条件下表现出较好的生产性能, 熊雪等<sup>[21]</sup>的研究也表明 WL 系列苜蓿品种也具有较强的耐盐性, 由此可以看出 WL343HQ 是一个良好的抗逆品种, 但也有研究

表明, WL343HQ 在新疆绿洲区滴灌条件下的生产性能表现不佳<sup>[21]</sup>, 在晋北农牧交错带的越冬性能不好而导致其适应性不强<sup>[22]</sup>。甘农 10 号的株高最低, 金皇后的干草产量最低, 说明这两个品种在本研究区域低磷土壤条件的适应性较差, 有研究表明金皇后在高有效磷水平的土壤上生产性能较高<sup>[23]</sup>, 因此, 金皇后对土壤磷水平的反应更为敏感。而甘农 10 号的对土壤磷素反应的研究资料较少, 还需进一步研究。

磷在苜蓿的幼苗发育期是非常重要的, 幼苗对磷

的吸收非常迅速,在幼苗期已获得约为其总干重的2.5%之时,它可能早已积累多达其总含磷量的75%,磷被苜蓿吸收后,主要存在于幼嫩植株的叶中,苜蓿成熟后大部分贮存于种子中<sup>[23]</sup>。根据刘俊英等<sup>[25]</sup>的研究,苜蓿干重与磷效率具有较高相关性,干重的增加有利于磷的积累,磷含量随之升高。在本研究中,甘农10号、WL354HQ和WL343HQ具有较高的含磷量,但是甘农10号和WL354HQ的生物量干重均较低,只有WL343HQ既有高的生物量干重,也有较高的磷含量。

从作物品种资源中发掘耐土壤低磷或对土壤难溶性磷有较强吸收利用能力的种质,选育对土壤磷高效的品种,将大大降低资源消耗和农业成本,减少环境污染,保护农业生态环境<sup>[26-27]</sup>。磷吸收效率与磷利用效率共同决定了苜蓿的磷效率。本研究表明,WL343HQ的磷吸收效率显著高于其他品种,金皇后的磷吸收效率最低,这与农艺指标的结果相似,也表明干重的积累得益于磷的良好吸收。这与在其他作物的研究结果一致<sup>[28-29]</sup>。甘农3号和甘农5号具有最高的磷利用效率,说明这两个品种吸收的磷生产的干物质较多。栗振义等<sup>[30]</sup>的研究表明,苜蓿在低磷环境,会抑制地上部分的生长,优先生长地下部分,表现为地上部分的磷利用效率增高,这也解释了这两个品种表现出低的地上生物量,高的磷利用效率。而WL343HQ的磷利用效率在9个品种中排第4,表现出较高的磷吸收和利用效率。磷吸收、利用效率较高的品种对磷的再运输、再分配能力强<sup>[31]</sup>,因此,综合评价的结果也表明WL343HQ是本研究条件下适应性最好的品种,其次为WL358HQ、WL354HQ和甘农5号,可在本地区苜蓿栽培中选择使用。

## 4 结论

本研究条件下,WL343HQ品种的株高最高,甘农9号鲜重较大,为4.30 g/pot,WL343HQ品种干重最大,为0.70 g/pot,结合鲜重和干重,WL343HQ品种生长速度较其他品种快;9个苜蓿品种的地上部磷含量排序为:甘农10号>WL354HQ>WL343HQ>WL358HQ>WL363HQ>金皇后>甘农9号>甘农5号>甘农3号;磷吸收效率总体表现为:WL343HQ>WL358HQ>甘农5号>甘农9号>WL363HQ>甘农10号>甘农3号>WL354HQ>金皇后;甘农3

号磷利用效率最高,为0.84 g/mg,甘农10号最低,为0.53 g/mg。灰色关联度综合评价得出WL343HQ、WL358HQ、WL354HQ和甘农5号为低磷土壤条件下表现较好的4个品种,适宜在土壤有效磷含量较低的土壤上种植。

### 参考文献:

- [1] 张树振,陈述明,黄利春,等. 地下滴灌施磷对紫花苜蓿产量及饲用价值的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医,2021(5):107-111.
- [2] 赵骄阳,朱慧森,张士敏,等. 8个紫花苜蓿品种在山西中部地区的农艺性状和营养价值评价[J]. 山西农业科学,2021,49(4):414-419.
- [3] 王宏. 辽西地区风沙区紫花苜蓿综合栽培技术[J]. 中国林副特产,2021(2):54-55.
- [4] 王兆辉. 苜蓿的种植技术[J]. 现代畜牧科技,2021(4):53-55.
- [5] 郑敏娜,梁秀芝,韩志顺,等. 不同磷素水平对紫花苜蓿磷累积动态和种子产量构成因子的影响[J]. 草地学报,2020,28(1):80-87.
- [6] 王园园,张红香,金成吉,等. 磷肥对紫花苜蓿生产力影响的研究概述[J]. 中国农学通报. 2020,36(35):72-77.
- [7] 田春丽,刘世亮,化党领,等. 有机酸-磷肥施对紫花苜蓿生长及磷锌吸收的影响[J]. 河南农业大学学报,2007,41(4):383-385.
- [8] Berg W K, Cunningham S M, Brouder S M, et al. Influence of phosphorus and potassium on alfalfa yield and yield components[J]. Crop Science, 2005,45:297-304.
- [9] 任立飞,张文浩,李衍素. 低磷胁迫对黄花苜蓿生理特性的影响[J]. 草业学报,2012,21(3):242-249.
- [10] He H H, Peng Q, Wang X, et al. Growth, morphological and physiological responses of alfalfa(Medicago sativa) to phosphorus supply in two alkline soils[J]. Plant and Soil, 2017,416:565-584.
- [11] 张凡凡,于磊,鲁为华,等. 高效利用磷肥提高我国苜蓿生产力的研究进展[J]. 草食家畜,2013(5):6-11.
- [12] Baettin G G. The uptake and utilization of phosphorus and nitrogen by diploid, tetraploid and hexaploid wheat (*Triticum* spp.)[J]. Ann Bot,1986,58:49-59.
- [13] 邢宏燕,王二明,李滨,等. 有效利用土壤磷的小麦种质筛选方法研究[J]. 作物学报,2000,26(6):839-844.
- [14] Graham P H, Vance C P. Nitrogen fixation in perspective: an overview of research and extension needs[J]. Field Crops Research,2000,65(2):93-106.
- [15] 童学军,卢永根,严小龙. 广东大豆地方种质磷效率特性

- 研究不同大豆基因型冠部、根部磷效率特性差异及其与植株磷效率特性的关系[J]. 中国油料作物学报, 2000, 22(4): 49—54.
- [16] 林文雄, 石秋梅, 郭玉春, 等. 水稻磷效率差异的生理生化特性[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(6): 578—583.
- [17] 阎秀兰, 徐芳森, 王运华. 不同拟南芥磷营养效率的差异及其营养机理初探[J]. 植物营养与肥料学报, 2004, 10(6): 625—628.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [19] 杨青, 张一, 周志春, 等. 低磷胁迫下不同种源马尾松的根构型与磷效率[J]. 应用生态学报, 2012, 23(9): 2339—2345.
- [20] 熊雪, 桂维阳, 刘沫含, 等. 不同紫花苜蓿品种在均匀与不均匀盐胁迫下的耐盐性评价[J]. 草业学报, 2018, 27(9): 67—76.
- [21] 孙艳梅, 苗晓茸, 刘俊英, 等. 滴灌条件下 3 种紫花苜蓿细根周转及不同土层分布特征[J]. 草业学报, 2019, 28(10): 91—100.
- [22] 高永强, 姜树珍, 周恩芳, 等. 10 个紫花苜蓿品种在晋北农牧交错带的适应性研究[J]. 草原与草坪, 2018, 38(4): 52—59.
- [23] 王晓龙, 李红, 米福贵, 等. 不同秋眠级苜蓿生产性能及越冬率评价[J]. 草业学报, 2019, 28(6): 82—92.
- [24] 李振松, 栗振义, 张绮芯, 等. 敖汉和维多利亚紫花苜蓿对低磷环境应激机制的比较[J]. 草业学报, 2019, 28(1): 50—59.
- [25] 刘俊英, 回金峰, 孙梦瑶, 等. 施磷水平和接种 AMF 与解磷细菌对苜蓿产量及磷素利用效率的影响[J]. 农业工程学报, 2020, 36(19): 142—143.
- [26] 周广威, 张少民. 新疆冬小麦品种苗期磷效率差异研究[J]. 中国土壤与肥料, 2020(6): 213—219.
- [27] 郭程瑾, 李宾兴, 王斌, 等. 小麦高效吸收和利用磷素的生理机制[J]. 作物学报, 2006(6): 827—832.
- [28] 乔振江, 蔡昆争, 骆世明. 低磷和干旱胁迫对大豆植株干物质积累及磷效率的影响[J]. 生态学报, 2011, 31(19): 5578—5587.
- [29] 丁玉川, 陈明昌, 程滨, 等. 北方春大豆磷高效基因型的筛选[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(4): 597—600.
- [30] 栗振义, 张绮芯, 全宗永, 等. 不同紫花苜蓿品种对低磷环境的形态与生理影响分析[J]. 中国农业科学, 2017, 50(20): 3898—3907.
- [31] 彭琪, 何红花, 张兴昌. 低磷环境下接种丛枝菌根真菌促进紫花苜蓿生长和磷素吸收的机理[J]. 植物营养与肥料学报, 2021, 27(2): 293—300.

## The growth and phosphorus efficiency of different alfalfa varieties under low phosphorus

ZHANG Wen-jie, YANG Liang, ZHANG Long-ji, ZENG Guo-zu,  
JIANG Rui-xue, JIANG Zhi-ying, LI Ya-juan

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

**Abstract:** Soil phosphorus status is very important to alfalfa growth and nutrient quality. Nine alfalfa varieties (including Gannong 3, Gannong 5, Gannong 9, Gannong 10, WL358HQ, WL343HQ, WL363HQ, WL354HQ and Golden Queen), were used to study their growth and phosphorus efficiency under low soil phosphorus condition using soil pot cultivation method. Plant height, biomass, phosphorus content, phosphorus uptake and utilization efficiency were studied and comprehensive evaluation was conducted. The results showed that plant height, fresh and dry biomass of WL343HQ were greater than the other varieties under low soil phosphorus con-

dition. The phosphorus content of nine alfalfa varieties followed the order of Gannong 10 > WL354HQ > WL343HQ > WL358HQ > WL363HQ > Golden Queen > Gannong 9 > Gannong 5 > Gannong 3. The order of phosphorus uptake efficiency was WL343HQ > WL358HQ > Gannong 5 > Gannong 9 > WL363HQ > Gannong 10 > Gannong 3 > WL354HQ > Golden Queen. WL343HQ had the highest phosphorus uptake efficiency of 1.32 mg/pot while Golden Queen had the lowest (0.58 mg/pot). Gannong 3 had the highest phosphorus utilization efficiency (0.84 mg/pot), while Gannong 10 had the lowest value (0.53 mg/pot). WL343HQ, WL358HQ, WL354HQ and Gannong 5 were four varieties showing better performance under low phosphorus using Grey Correlation Evaluation method, and therefore recommended for planting in soil with low phosphorus.

**Key words:** low soil phosphorus; alfalfa; biomass; phosphorus content; phosphorus efficiency

.....  
(上接 80 页)

## Variation characteristics of soil nitrogen in the process of degraded succession of Gahai wetland

TANG Yan-mei<sup>1</sup>, Ma Wei-wei

(College of Forestry, Gansu Agricultural University, Lanzhou, Gansu Province 730070, China)

**Abstract:** This study was oriented to characterize the evolution of soil nitrogen composition with degradation of alpine marshy meadow wetland of Gahai. The contents of total N, available N, microbial biomass N and nitrite N content were tested from 4 succession stages, including Undegraded (UD), lightly degraded (LD), moderately degraded (MD) and heavy degraded (HD) of the different soil layers (0~10 cm, 10~20 cm, 20~30 cm 和 30~40 cm). The results showed that: In terms of average contents of total N, available N, microbial biomass N and nitrite N, the four types of wetlands exhibited an order of UD > LD > MD > HD in 0~40 cm layer soils. With UD turning into HD, the contents of soil total N, available N, microbial biomass N and nitrite N in 0~10 cm and 30~40 cm were decreased significantly or by 15.28% and 2.33%, 12.13% and 8.41%, 13.94%, 10.58%, 22.69% and 51.70%, respectively ( $P < 0.05$ ). Regression analysis results showed that: The contents of N were significantly negatively related with soil depth. The  $R^2$  of soil N component was larger than 0.88, except the total N. This indicated that nitrogen contents were significantly decreased in 0~10 cm with wetland degradation, but the decreased trend gradually tends to be stable with the increasing of soil layer.

**Key words:** Wetland degradation; total nitrogen; available nitrogen; microbial biomass nitrogen; nitrite nitrogen