

长期施肥对黄土区连作苜蓿草地植被特征的影响

蔡志风¹, 郝明德^{1,2}, 吴振海³, 史培¹, 王缠军¹, 普琼¹

(1. 西北农林科技大学 林学院, 陕西 杨凌 712100; 2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 3. 西北农林科技大学 生命科学学院, 陕西 杨凌 712100)

摘要: 利用长期定位试验, 对不同施肥条件的苜蓿草地植被特征变化进行了研究。结果表明, 不同施肥处理下连作苜蓿草地群落物种丰富度指数变化不显著。群落盖度增大, 群落高度亦明显增加。施肥可维持群落多样性和稳定性, 提高苜蓿草地生产力。施肥后苜蓿种群生态位宽度明显上升, 竞争力相对增强, 而杂类草生态位宽度降低, 竞争力相对减弱。连作施肥条件下苜蓿种群与其它物种之间没有最大的生态位重叠, 杂类草之间生态位重叠较大, 它们之间的竞争较为激烈且占主要地位, 施肥可提高苜蓿草地质量和经济价值。狗尾草等杂草入侵是导致苜蓿人工草地退化的一个重要影响因素。

关键词: 黄土区; 长期施肥; 连作苜蓿草地; 植被特征

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)01-0046-07

中图分类号: S7

Effects of Long-term Fertilization on Vegetation Characteristics of Continuous Cropping Alfalfa Grasslands in Loess Plateau

CAI Zhi-feng¹, HAO Ming-de^{1,2}, WU Zheng-hai³, SHI Pei¹, WANG Chan-jun¹, PU Qiong¹

(1. College of Forestry, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;

2. Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling,

Shaanxi 712100, China; 3. College of Life Science, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: The changes of the vegetation characteristics of alfalfa grasslands under different fertilization schemes were analyzed with the trial of plot experiments. The results indicate that the species richness index of the continuous cropping alfalfa grassland did not significantly change under different fertilizer treatments, along with considerably increased community coverage, and significantly raised community heights. Fertilization could maintain species diversity and community stability and enhance alfalfa grassland productivity. After the application of fertilizer, the niche breadth of alfalfa population significantly increased and the competitiveness strengthened relatively. However, the niche breadth of forbs decreased and relatively weakened. No significant niche overlap was found between alfalfa population and other species under continuous cultivation and fertilization. Greater niche overlap was found among the forbs, between which the competition was more intense and dominant. Fertilization could improve the quality and economic value of alfalfa grasslands, while the invasion of forbs functional groups such as *Setaria viridis* was one of the most important factors degrading the grasslands.

Keywords: loess region; long-term fertilization; continuous cropping alfalfa grassland; vegetation characteristics

紫花苜蓿(*Medicago sativa*), 由于其耐贫瘠, 多年生, 适口性好, 营养丰富, 保水固土效果显著等特点长期以来在黄土高原地区被广泛种植。黄土高原地区的人们通过种植苜蓿取得了较好的经济效益和生态效益。然而, 由于气候干旱, 土壤贫瘠等原因, 紫花苜蓿草地生产力普遍偏低, 而且生长盛期持续时间一

般仅为 3~5 a, 到 6~7 a 之后伴随着苜蓿草地利用年限的延长, 杂草的入侵与土壤水分、养分状况的恶化, 草地呈现退化趋势, 产草量迅速下降, 利用价值降低^[1], 严重制约了该地区苜蓿人工草地的发展。施肥是解决这一问题的有效的途径之一, 施肥能够延缓苜蓿草地衰退发生的时期^[2], 具有延长其高产期的作

收稿日期: 2010-07-30

修回日期: 2010-08-27

资助项目: 国家重点基础研究发展计划项目“主要粮食作物高产栽培与资源高效利用的基础研究”(2009CB118604); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(kzcx2-yw-424-3); 中国科学院知识创新工程重大项目(KSCX-YW-09-07)

作者简介: 蔡志风(1984—), 女(汉族), 贵州省瓮安县人, 在读硕士, 主要从事农业生态学研究。E-mail: caizhifeng1982@sina.com。

通信作者: 郝明德(1957—), 男(汉族), 陕西省华县人, 研究员, 博士生导师, 从事土壤肥力与黄土高原综合治理研究。E-mail: mdhao@ms.iswc.ac.cn。

用^[3-4];可有效提高草地鲜草产量^[5],改善鲜草品质^[6],还可改善苜蓿种群的基质条件,缓解种群竞争压力^[1],增加栽培牧草比例和减少杂草植物。人们对黄土高原地区施肥苜蓿草地的生产力及产量,苜蓿养分^[2,4,7]等做了大量研究,而对与苜蓿草地生产力、稳定性等密切相关的植被特征如群落高度、盖度、物种丰富度、生态位特征等研究甚少。本文利用黄土区长期定位施肥试验,研究紫花苜蓿连作下长期施肥对苜蓿草地群落特征的影响,以期为该区苜蓿草地持续高效利用和防止苜蓿人工草地退化提供依据。

1 材料与方 法

1.1 研究区概况

试验区设在陕西省长武县十里铺村塬面旱地上,海拔 1 200 m。据自 1957 年建立气象站以来的记录,日照时数 2 226 h,年平均气温 9.1 °C,最热 7 月份平均温度为 22.1 °C,最冷 1 月份平均温度为 -5 °C,年较差 27.1 °C,塬面 ≥ 0 °C 活动积温平均 3 692.7 °C,最多为 3 883.8 °C,最少为 3 402.7 °C,变异系数为 2.81%。 ≥ 10 °C 活动积温为 3 029.8 °C,最多为 3 305.4 °C,最少为 2 588.2 °C,变异系数为 5.33%。无霜期 171 d,最长 219 d(1964 年),最短 131 d(1972 年),年均降水 579.4 mm,最多 954.3 mm(2003 年),最少 296.0 mm(1995 年)。土壤是中壤质黑垆土,1984 年试验开始时土壤(0—20 cm)的土壤有机质 10.5 g/kg,全氮 0.75 g/kg,碱解氮 37.0 mg/kg,全磷 0.66 g/kg,速效磷 3.0 mg/kg,速效 K 129.3 mg/kg,pH 值为 8.3,土地肥力在黄土高原同类地区具有代表性。

1.2 试验设计

本研究选择长期轮作培肥试验 36 个处理中的 3 个苜蓿连作处理:(1) 不施肥(CK);(2) 单施磷肥(P);(3) 氮、磷、有机肥配施(NPM)。小区长 10 m,宽 6.6 m,面积 66.67 m²,小区间距 0.5 m,区组间距 1 m,采用随机区组排列,每个处理重复 3 次。氮肥用尿素,施氮量为 120 kg/hm²。磷肥用过磷酸钙,施磷量为 26.4 kg/hm²。有机肥为厩肥 75 t/hm²(有机质含量 10.6 g/kg,全氮 2.65 g/kg,碱解氮 3.65 mg/kg,有效磷 0.11 g/kg)。1984 年,氮、磷和有机肥都作为基肥于播前一次性施入土中,之后苜蓿连作小区施肥时间在每年第 2 次刈割后撒施地表。

苜蓿连作耕层土壤(0—20 cm)基本理化性状为:不施肥区,土壤有机质 19.51 g/kg,全氮 1.22 g/kg,碱解氮 82.03 mg/kg,全磷 0.67 g/kg,速效磷 0.39 mg/kg,速效 K 153.89 mg/kg;单施磷肥区,土壤有机质 15.56 g/kg,全氮 1.37 g/kg,碱解氮 88.97 mg/

kg,全磷 0.71 g/kg,速效磷 2.96 mg/kg,速效 K 141.48 mg/kg;NPM 配施区,土壤有机质 19.78 g/kg,全氮 1.23 g/kg,碱解氮 80.64 mg/kg,全磷 0.76 g/kg,速效磷 6.32 mg/kg,速效 K 147.19 mg/kg(2008 年土样分析值)。

紫花苜蓿自 1984 年播种后一直生长至今,每年 6 月中旬和 8 月下旬各刈割 1 次。

1.3 野外调查与取样

在每个小区中采用随机取样法设 1 个 1 m×1 m 个样方,于 2009 年 5 月下旬和 8 月上旬,在植物生长旺盛期进行植被调查,记录每个样方内的植物种类、株数、株高及各物种在样方中的株数(多度)、频度和盖度等。在 2009 年 8 月上旬调查的数据中,选取出现频率最多的 15 种植物进行生态位的分析研究。

1.4 数据分析

1.4.1 物种丰富度^[8-9] 物种丰富度以每个样方中出现的所有物种数计算。

1.4.2 生态位测定 生态位测定的基本步骤是资源轴的确定及其梯度划分。在进行这一步时通常有两种做法,其中把群落调查的每个样方视作多种资源的综合状态,以各种群在不同样方的个体数目、重要值或盖度等指标计算各种群的生态位宽度和生态位重叠。该方法能够较好地反映综合环境影响下植物类群的生态适应特征^[10]。基于以上认识,以所调查的样方作为资源状态,样方数为资源梯度的数目,以盖度为数量指标进行生态位的计测。

生态位宽度测度公式选用 Levins^[11] 提出后经 Colwell^[12] 等加权修改的公式:

$$B_{Li} = (1/r \sum P_{ij}^2) \quad (j=1, \dots, r) \quad (1)$$

式中: B_{Li} ——物种 i 的 Levins 生态位宽度; P_{ij} ——物种 i 对第 j 资源梯度级的利用占它对全部资源利用的百分率, $P_{ij} = n_{ij}/N_i$,而 $N_i = \sum n_{ij}$, n_{ij} 为物种 i 在第 j 样方中的重要值(如盖度、重要值、密度等); r ——样方数。

将黄土区苜蓿人工草地群落可以看作是各种施肥条件下群落类型组成的多位空间,则种群在整个地区的 Levins 生态位总宽度为:

$$B_{Li} = (\sum B_{Lij}^2)^{1/2} \quad (j=1, \dots, m) \quad (2)$$

式中: B_{Lij} ——植物种群在第 j 个施肥条件或群落类型的 Levins 生态位宽度; m ——施肥条件或群落类型的数目。

生态位重叠计测公式为 Pianka^[13] 生态位重叠指数计测:

$$Q_{ik} = \sum n_{ij} n_{kj} / (\sum n_{ij}^2 \sum n_{kj}^2)^{1/2} \quad (j=1, \dots, r) \quad (3)$$

式中: Q_{ik} ——物种 i 与物种 k 的生态位重叠值; n_{ij} ,

n_{kj} ——物种 i 与物种 k 在样方 j 的重要值; r ——样方数。

2 结果与分析

2.1 群落高度

高度是草地结构的重要参数,与产量之间有一定的相关性,是衡量草地生产力的指标之一^[14]。

不同施肥作用于苜蓿草地,会引起第一茬草群高度的变化(表 1)。NPM 配施时草群高度最大为 135.7 cm;单施 P 肥次之,为 115.3 cm;未施肥情况下最小,为 81.3 cm。NPM 配施的第一茬草群高度比不施肥高度增加 66.9%;单施 P 肥的第一茬草群高度与不施肥情况相比增加了 68.4%。草群高度的这种变化主要是因为施肥使草地土壤有效养分增加,营养状况得到改善,第一茬苜蓿及其杂草在土壤肥力良好的条件下生长旺盛,草群高度因此而增加。这说明苜蓿草地施肥对促进植被生长和增加第一茬草群高度都具有积极的作用。

表 1 不同施肥对群落高度的影响 cm

处理	第一茬	第二茬
CK	81.3aA	39.5aB
P	115.3aA	48.0bB
NPM	135.7aA	66.5bB

注:同一列不同小写字母表示差异性显著($p < 0.05$),同一行不同大写字母表示差异性显著($p < 0.05$)。下同。

第二茬施肥草群高度较不施肥草群高度都显著增加。NPM 配施的草群高度最大,为 66.5 cm,单施 P 肥的次之,为 48.0 cm,未施肥的最小,为 39.5 cm。NPM 配施的第二茬草群高度比不施肥高度增加 91.02%;单施 P 肥的第二茬草群高度与不施肥情况相比增加了 21.6%。单施 P 肥、NPM 配施的第二茬草群高度均与未施肥的差异显著($p < 0.05$)。这说明施肥能促进苜蓿草地植被生长和明显提高第二茬草群高度。

与第一茬相比,第二茬不施肥、单施 P 肥、NPM 配施的草群高度均显著下降($p < 0.05$),以单施 P 肥的草群高度下降幅度最大,达到了 58.4%,NPM 配施的草群高度降幅最小为 50.1%。这表明施肥苜蓿草地群落高度随茬次的不同而有较大的差别,施肥对第一茬草群高度的增加作用比较明显。

总的来看,第一茬和第二茬草群高度在施肥后均呈上升趋势。第一茬不施肥、单施 P 肥和 NPM 配施的群落高度间有一定的差距,但差异不显著;第二茬未施肥草群高度显著低于施肥的草群,但单施 P 肥

和 NPM 配施的群落高度间差异不显著。施肥对苜蓿草地群落高度增加有明显的的作用,其中 NPM 配施对草群高度增加的作用特别突出。

2.2 群落盖度

群落盖度是生态学中的一个重要指标,与草地生产力和稳定性密切相关。

施肥后第一茬苜蓿草地群落被盖度呈上升趋势(表 2),未施肥群落盖度(80%)最小,NPM 配施群落盖度(88.3%)次之,单施 P 肥群落盖度(91.7%)最大。可见通过施肥第一茬群落盖度有增大趋势,且与未施肥的情况比较,单施 P 肥群落盖度增大较 NPM 配施多,增幅为 15%。说明施肥促进了第一茬植株分枝、分蘖,同时使植株个体长势良好,进而引起第一茬群落盖度整体上增加。

表 2 不同施肥对群落盖度影响 %

处理	第一茬	第二茬
CK	80.0aA	43.3aB
P	91.7aA	66.7aB
NPM	88.3aA	56.7aB

施肥使第二茬苜蓿草地群落盖度增大,不施肥时群落盖度是(43.3%),低于 NPM 配施时的群落盖度(56.7%)和单施 P 肥时的群落盖度(66.7%)。可知第二茬群落盖度在施肥后呈上升趋势,且与不施肥时的群落盖度比较,单施 P 肥的群落盖度增加较 NPM 配施多,增幅达 54%。说明施肥使第二茬植株个体增高增粗并使其再生能力增加,从而导致第二茬群落盖度大幅提高。

与第一茬相比,第二茬不施肥、单施 P 肥和配施 NPM 的群落盖度皆显著下降($p < 0.05$),这表明施肥状态下不同茬次间苜蓿草地群落盖度存在较大差异,施肥对第二茬群落盖度的增加效果非常明显。

总之,施肥可不同程度增加苜蓿草地群落盖度,其中单施 P 肥对群落盖度的增加作用最为明显。施肥使第一茬和第二茬群落盖度皆发生了变化,但是变化都不大,这间接地反映了长期施肥对维持群落生态稳定性具有积极的作用。同一施肥条件下不同茬次间苜蓿草地群落盖度存在较大差异,施肥对第二茬群落盖度的增加效果非常明显。

2.3 物种丰富度

草地植物群落物种丰富度,即其所含的植物物种总数,是群落多样性的最基本特征^[15],在维持群落稳定性方面有着积极的作用。

第一茬施肥苜蓿草地的物种丰富度指数与不施肥的相比保持不变或稍有下降(表 3)。单施 P 肥的

物种丰富度指数与不施肥的持平, NPM 配施的物种丰富度指数为 6.0, 仅比不施肥的减少了 0.7。这说明第一茬不施肥、单施 P 肥和 NPM 配施群落的物种多样性都基本一致, 以单施 P 肥群落的生物多样性与未施肥群落的最接近, 即施肥尤其是施 P 肥能维持群落较高的物种多样性, 因而施肥可适当延迟苜蓿人工草地的快速退化。

表 3 不同施肥对物种丰富度的影响

处理	第一茬	第二茬
CK	6.7aA	10.3aA
P	6.7aA	8.3aA
NPM	6.0aA	9.0aA

第二茬苜蓿草地的物种丰富度指数在施肥后呈小幅下降趋势, 未施肥区物种丰富度指数为 10.3, 高于施 NPM 的物种丰富度指数(9.0)和施 P 肥的丰富度指数(8.3); 第二茬不施肥、单施 P 肥和 NPM 配施的物种丰富度指数间差异亦比较小($p > 0.05$)。这说明第二茬不施肥、单施 P 肥和 NPM 配施群落的生物多样性基本一致, 即施肥可维持群落物种多样性, 保持其生态稳定性。

与第一茬相比, 虽然未施肥、单施 P 肥和 NPM 配施的物种丰富度指数在第二茬皆有所上升, 但差异均不明显($p > 0.05$), 物种丰富度指数之所以在第二茬增大可能是因为刈割改善了群落通风透光条件, 有利于增加在群落中定居的物种数量。这表明同一施肥条件下苜蓿草地的物种丰富度指数随茬次不同而变化较小, 群落结构相对较稳定。

第二茬不施肥苜蓿地的物种丰富度指数较第一茬有一定的提高, 增幅为 53.7%, 明显高于第一茬单施磷肥的 23.9%, 大于第一茬氮磷有机肥配施的 50%。可见随茬次不同进入施肥区的杂草种类不多, 其原因可能是苜蓿种群的优势度及其密度等数量特征在施肥后有很大提高, 使其竞争力得以很大的提升, 这不利于其它杂草植物在群落中定居和繁殖, 导致施肥区物种总数增加不多, 相应地物种丰富度指数增幅也小, 以单施 P 肥区最少。这反映了施肥特别是施 P 肥有利于维持苜蓿在群落中的优势种地位这种“暂稳态”, 保持其群落的生产稳定性, 从而可防止苜蓿草地过早退化, 延长其利用年限。

2.4 各组种群的生态位分析

2.4.1 生态位宽度分析 在苜蓿人工草地中, 伴随着草地利用年限的延长, 一些杂草因其对人工草地特殊环境的适应性和资源利用竞争能力较强, 能在植物群落中迅速发展其种群, 提高其在群落中的地位。入侵杂草各种群的迅速扩展, 形成对栽培牧草的资源利用竞争性抑制, 是人工草地发生急速退化演替的主要原因之一^[16]。生态位宽度和生态位重叠是分析植物群落中各组种群资源竞争能力的重要指标^[17]。

施肥使苜蓿种群生态位宽度明显升高(表 4), 从不施肥的 0.2581 增加到单施 P 肥的 0.3179 和配施 NPM 肥的 0.3306, 其生态位总宽度最大为 0.5263。说明施肥使苜蓿的生态位宽度增加, 生态适应性和竞争能力增强, 同时使其生长加快, 从而表现出较大的生态位宽度, 成为生态幅较宽的物种, 在资源利用中取得较大优势。

表 4 不同施肥条件下苜蓿草地群落主要种群的生态位宽度

物种	处理			生态位总宽度	排序
	CK	P	NPM		
1 苜蓿	0.2581	0.3179	0.3306	0.5263	1
2 五爪金龙	0.2476	0.3103	0.0000	0.3970	4
3 阿尔泰狗娃花	0.2924	0.0000	0.0000	0.2924	9
4 娟毛萎陵菜	0.1681	0.0000	0.0000	0.1681	14
5 狗尾草	0.2525	0.3203	0.2963	0.5041	2
6 地锦草	0.3333	0.1111	0.1111	0.3685	5
7 附地菜	0.2137	0.3977	0.1111	0.4649	3
8 蒙古蒲公英	0.1538	0.2222	0.1111	0.2922	10
9 车前	0.2222	0.0000	0.0000	0.2222	14
10 马唐	0.2222	0.1111	0.2000	0.3189	7
11 夏至草	0.1111	0.2608	0.2117	0.3538	6
12 斑种草	0.0000	0.3086	0.0000	0.3086	8
13 反枝苋	0.0000	0.1111	0.2222	0.2485	12
14 芥苳菜	0.0000	0.0000	0.2727	0.2727	11
15 长芒草	0.0000	0.1111	0.1538	0.1898	12

施肥后, 荠苳菜 (*Capsella bursa-pastoris*)、反枝苋 (*Amaranthus retroflexus*) 和长芒草 (*Stipa bungeana*) 的生态位宽度均有所上升, 而马唐 (*Digitaria sanguinalis*) 和地锦草 (*Euphorbia humifusa*) 均表现出下降趋势, 其余杂草的生态位宽度则表现出较大的波动性。如五爪金龙 (*Ipomoea cairica*) 和斑种草 (*Bothriospermum chinense*) 在单施 P 肥时生态位宽度都是最大, 分别为 0.310 3 和 0.308 6, 五爪金龙在 NPM 配施时为零, 斑种草在未施肥和 NPM 配施时皆为零; 阿尔泰狗娃花 (*Heteropappus altaicus*)、绢毛萎萎菜 (*Potentilla reptans*) 和车前草 (*Plantago depressa*) 在不施肥时生态位最宽, 而在施肥状况下没有出现; 狗尾草 (*Setaria viridis*)、附地菜 (*Peduncularis*)、蒙古蒲公英 (*Taraxacum mongolicum*) 和夏至草 (*Lagopsis supina*) 在单施 P 肥时的生态位宽度最大, 狗尾草和夏至草生态位宽度在不施肥时最小, 附地菜和蒙古蒲公英则是在 NPM 肥配施时最小。这说明土壤养分状况的变化对苜蓿草地群落中各种杂草的生态位宽度影响较大, 也表明施肥对不同物种产生的作用有所不同。施肥后各类杂草的生态位宽度有增有减, 但从整体来看, 施肥降低了杂类草的生态位宽度, 使其生态适应性和竞争能力相对减弱, 这将有利于增加栽培牧草比例, 提高苜蓿草地经济价值, 降低杂草类在群落中的优势度。

除苜蓿有较高的生态位总宽度外, 狗尾草、附地菜、五爪龙、地锦草和夏至草 (排序依次为 2, 3, 4, 5, 6) 等杂草亦具有较大的生态位总宽度, 分别为 0.504 1, 0.464 9, 0.397 0, 0.368 5 和 0.353 8, 成为苜蓿草地的主要伴生种, 可见这些杂草具有较强的生态适应性和

竞争能力, 是苜蓿草地的主要杂草, 同时也是入侵苜蓿人工草地的先锋植物以及该阶段植物群落演替过程中逐步取代栽培种苜蓿优势种地位的主要组分种。各种入侵杂草中, 尤以狗尾草对苜蓿草地退化的作用为甚, 不容忽视。

2.4.2 生态位重叠分析 生态位重叠是指不同物种生态位之间的重叠现象或共有的生态位空间, 即 2 个或更多的物种对资源维或资源状态的共同利用。由 15 种植物的生态位重叠值矩阵 (表 5) 可以看出, 在连作施肥条件下, 生态位宽度较大的物种与其它种群间有较大的生态位重叠, 最大的生态位重叠发生在狗尾草和地锦草之间, 为 0.999 2, 其次是狗尾草和蒙古蒲公英之间, 为 0.998 6, 地锦草和蒙古蒲公英之间生态位重叠为 0.997 8, 苜蓿和地锦草之间生态位重叠为 0.997 7, 狗尾草和附地菜间生态位重叠为 0.996 6, 蒙古蒲公英和马唐之间生态位重叠为 0.994 4。这表明在连作施肥条件下苜蓿与其它物种之间没有最大的重叠, 重叠最大的发生在生态位宽度较大的狗尾草和地锦草之间, 并且它们与其它物种的重叠程度也较大。生态位重叠值越大, 说明它们能共同利用的生态资源越多, 在相同环境中相互竞争就越激烈; 施肥苜蓿草地群落物种间的竞争主要是在杂草之间, 苜蓿的生长已经占据主要地位, 从而可抑制杂类草的生长, 使草地质量得以提高。同时也说明, 施肥后苜蓿生长较快, 随着苜蓿个体数、盖度和高度的增加, 对资源利用有明显的优势, 其它物种争夺剩余资源, 它们之间有较大的生态位重叠, 在资源利用上有更多的相似点, 竞争也较激烈, 结果就是杂类草之间的竞争增多, 必然导致杂类草的生长受抑制, 甚至其中一些杂类草的消失。

表 5 不同施肥条件下苜蓿草地群落主要种群的生态位重叠

物种	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	1														
2	0.762	1													
3	0.000	0.000	1												
4	0.853	0.726	0.000	1											
5	0.984	0.785	0.000	0.803	1										
6	0.998	0.774	0.000	0.820	0.999	1									
7	0.984	0.822	0.000	0.780	0.997	0.993	1								
8	0.992	0.754	0.000	0.781	0.999	0.998	0.993	1							
9	0.780	0.948	0.000	0.569	0.829	0.810	0.872	0.812	1						
10	0.983	0.681	0.000	0.752	0.988	0.989	0.976	0.994	0.755	1					
11	0.932	0.669	0.000	0.698	0.889	0.905	0.859	0.879	0.579	0.872	1				
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1			
13	0.853	0.722	0.000	0.523	0.802	0.820	0.780	0.752	0.000	0.752	0.968	0.000	1		
14	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1	
15	0.000	0.721	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	1

注: 表中各物种的名称同表 4。

3 结论

(1) 对草地进行合理施肥能提高草群高度^[18]。沈景林等^[19]的研究表明,在高寒退化草地,施氮肥可使改良 7 a 的草群高度比对照增加 26.8%~108.2%;在陕北黄土丘陵区土壤养分较贫瘠的地区,施肥使群落的平均高度提高^[20]。本试验结果表明不同施肥对增加苜蓿草地群落高度均具有明显的促进作用,其中 NPM 配施的群落高度增加最显著,最大值可达 135.7 cm,比不施肥群落高度平均提高 54.4 cm,增幅达 128.95%。

(2) 施肥能显著提高各组分的盖度,改善草种在群落中的配比,增加草地的总盖度,使群落趋于稳定。Baer 等^[21]发现养分异质性可以提高植被盖度;周青平等^[22]的研究表明施肥后草群盖度比不施肥时增加 10.6%~174.0%。本研究结果也表明施肥使苜蓿草地群落盖度增大,其中单施 P 肥群落盖度增幅最高可达 54%,其值最大可达 91.7%,比不施肥时群落盖度提高了 11.7%。因此施肥可增加苜蓿草地群落盖度且能维持群落稳定性。

(3) 草地生态系统的可持续发展和草地生产力的维持在很大程度上依赖于草地群落的生物多样性^[23],而生物多样性本身不是一个独立变量,其维持受到多种因素的影响。植物群落的多样性和它的生境条件与土壤营养有密切的联系^[24]并随着土壤资源类型分布的不同而变化^[25-26]。施肥使连作苜蓿草地群落物种丰富度指数发生了变化,但变化不显著,且不同茬次间丰富度指数差距甚微,说明不同施肥处理植物群落的生物多样性基本一致,即施肥特别是施磷肥能维持群落较高的物种多样性和苜蓿在群落中的优势种地位,因而施肥可适当防止苜蓿草地过早退化,延长其利用年限。

(4) 在黄土区连作苜蓿草地,不同物种的生态位宽度随土壤养分状况的变化规律存在较大的差异,如苜蓿、长毛草等在施肥后生态位宽度呈上升趋势,而马唐和地锦草均表现出下降趋势,有一些物种是先增后减。这种现象是施肥后土壤营养状况变化和物种生物生态学特性共同作用的结果。

从整体来看,施肥使苜蓿种群生态位宽度增加,杂草类生态位宽度降低,从而使苜蓿生态适应性和竞争能力相对增强而杂草类生态适应性和竞争能力相对下降,这有利于增加目标牧草的比例和减少杂草类植物,提高苜蓿草地经济价值和改善其质量。狗尾草等杂草的入侵及其对苜蓿种群的竞争性抑制是人工草地退化的重要原因之一,为使苜蓿人工草地能够持

续利用,采取灭杂等管理措施十分必要。

(5) 在连作施肥苜蓿草地,生态位宽度较大的物种与其它种群间有较大的生态位重叠,这与前人的研究结果相似^[13-27]。优势种与其它物种之间没有最大的重叠,重叠最大的发生在生态位宽度较大的两个物种之间,这与多数研究者的结论一致^[28-29]。但也有较高的生态位重叠都出现在较小的生态位宽度的物种之间的报道^[30-31],这是由研究的草地群落本身特点和环境决定的。这表明在连作施肥条件下苜蓿与杂类草之间不存在激烈的竞争,生态位重叠较大的主要在杂类草之间,它们之间的竞争较为激烈,是主要的种间竞争。尽管杂草类具有较强的生态适应性,但施肥后随着苜蓿种群密度、数量的增加,必然会对杂类草的生长产生抑制,使草地质量和经济价值提高。

[参 考 文 献]

- [1] 李裕元,邵明安,上官周平,等. 黄土高原北部紫花苜蓿草地退化过程与植被演替研究[J]. 草业学报,2006,15(2):85-92.
- [2] 张少民. 黄土高原沟壑区苜蓿草地生产力及其环境效应研究[D]. 陕西 杨凌:西北农林科技大学,2007:19-20,36.
- [3] 李玉山. 苜蓿生产力动态及其水分生态环境效应[J]. 土壤学报,2002,39(3):404-411.
- [4] 郝明德,张春霞,魏孝荣,等. 黄土高原地区施肥对苜蓿生产力的影响[J]. 草地学报,2004,12(3):195-198.
- [5] 莫本田,罗天琼,韩永芬,等. 施肥量和施肥方式对混播人工草地草量的影响[J]. 草业科学,2000,17(4):13-16,20.
- [6] 李富宽,翟桂玉,沈益新,等. 施磷和接种根瘤菌对黄河三角洲紫花苜蓿生长及品质的影响[J]. 草业学报,2005,14(3):87-93.
- [7] 李丽霞,郝明德,张春霞. 不同种植方式下苜蓿地上部 N, P, K 含量的动态变化[J]. 干旱地区农业研究,2005,23(1):90-94.
- [8] Peet R K. The measurement of species of diversity[J]. Annual Review of Ecology and Systematic, 1974(5): 285-307.
- [9] 丁圣彦. 生态学[M]. 北京:科学出版社,2004:27-91.
- [10] 余世孝. 数量生态学导论[M]. 北京:科学技术文献出版社,1995:23-67.
- [11] Levins R. Evolution in Changing Environments: Some Theoretical Explorations [M]. Princeton: Princeton University Press, 1968.
- [12] Colwell R K, Futuyma D J. On the measurement of the niche breadth and overlap[J]. Ecogogy, 1971,52:567-576.
- [13] 郭全邦,刘玉成,李旭光. 缙云山森林次生演替序列优势种群生态位[J]. 西南师范大学学报:自然科学版,1997,22(1):73-78.

- [14] 郑华平,陈子萱,王生荣,等. 施肥对玛曲高寒沙化草地植物多样性和生产力的影响[J]. 草业学报, 2007, 16(5):34-39.
- [15] 史惠兰,王启基,景增春,等. 江河源区人工草地群落特征、多样性及其稳定性分析[J]. 草业学报, 2005, 14(3): 23-30.
- [16] 张耀生,周兴民,王启基,等. 应用 2,4-D 丁酯灭除中华羊茅(*Festuca sinensis*)人工草地杂草试验[J]. 中国草地, 1993, 15(1):47-51.
- [17] 张耀生,赵新全. 高寒牧区中华羊茅人工草地退化演替的数量特征研究[J]. 应用生态学报, 2002, 13(3):285-289.
- [18] 姚骅,陆建华,蔡立群,等. 玛曲退化草地主要植被特征对不同施肥处理的响应[J]. 甘肃农业大学学报, 2009, 44(1):127-131.
- [19] 沈景林,谭刚,乔海龙,等. 草地改良对高寒退化草地植被影响的研究[J]. 草地学报, 2000(5):49-54.
- [20] 陈小燕,梁宗锁,杜锋,等. 土壤养分分布对植物群落数量特征的影响[J]. 草地学报, 2008, 16(4):380-385, 391.
- [21] Baer S G, Collins S L, Blair J M, et al. Soil Heterogeneity effects on tallgrass prairie community heterogeneity: An application of ecological theory to restoration ecology[J]. Restoration Ecology, 2005, 13(2):413-424.
- [22] 周青平,金继运,德科加,等. 不同施氮水平对高寒草地牧草增产效益的研究[J]. 土壤肥料, 2005(3):29-31.
- [23] 史惠兰,王启基,景增春,等. 江河源区人工草地群落特征、多样性及其稳定性分析[J]. 草业学报, 2005, 14(3): 23-30.
- [24] 郑华平,陈子萱,王生荣,等. 施肥对玛曲高寒沙化草地植物多样性和生产力的影响[J]. 草业学报, 2007, 16(5):34-39.
- [25] 王长庭,龙瑞军,王启基,等. 不同类型高寒草地群落物种特征和均匀度的重要性[J]. 草业科学, 2005, 13(4): 320-323.
- [26] Morse D R, Lawton J H, Dodson M, et al. Fractal dimension of vegetation and the distribution of arthropod body lengths[J]. Nature, 1985, 314:731-732.
- [27] Walker B. Conserving biological diversity through ecosystem resilience [J]. Conservation of Biology, 1995 (9):747-752.
- [28] 陈波,周兴明. 三种嵩草群落中若干植物种的生态位宽度与重叠分析[J]. 植物生态学报, 1995, 19:158-169.
- [29] 董全民,赵新全,马玉寿,等. 高寒小嵩草草甸暖季草场主要植物种群的生态位[J]. 生态学杂志, 2006, 25(11): 1323-1327.
- [30] 张继义,赵哈林,张铜会,等. 科尔沁沙地植物群落恢复演替系列种群生态位动态特征[J]. 生态学报, 2003, 23(12):2741-2746.
- [31] 李瑞,张克斌,杨晓晖,等. 荒漠化草原人工封育区植物生态位研究[J]. 水土保持研究, 2006, 13(2):213-216.

(上接第 34 页)

(4) 通过对高原湿地纳帕海周边山地不同植被类型枯落物的定性和定量研究,发现周边山地植被对纳帕海湿地的水文生态效应起到了举足轻重的作用。枯落物不仅增加土壤肥力,促进其植被的生长发育,还吸持降雨,调节洪水,调节旱季水位。相较不同植被类型枯落物的持水特性,阔叶混交林的持水量最大,即高山柳+白桦混交林的持水量最大,天然云杉林和山楂林次之,因此,纳帕海周边山地在生态恢复过程中宜发展混交林,不论是阔叶混交林还是针阔混交林的生态效应都远远大于单一树种的纯林。

[参 考 文 献]

- [1] 朱丽晖,李冬,邢宝振. 辽东山区天然次生林枯落物层的水文生态功能[J]. 辽宁林业科技, 2001(1):35-37.
- [2] 林波,刘庆,吴彦,等. 川西亚高山针叶林凋落物对土壤理化性质的影响[J]. 应用与环境生物学报, 2003, 9(4): 346-352.
- [3] 王波,张洪江,徐丽君,等. 四周边山地不同人工林枯落物储量及其持水特性研究[J]. 水土保持学报, 2008, 22(4):90-94.
- [4] 戴晓勇,张贵云,崔迎春,等. 梵净山不同植被类型枯落物持水特性研究[J]. 沈阳农业大学学报, 2003, 34(2): 155-159.
- [5] 张振明,余新晓,牛健植,等. 不同林分枯落物层的水文生态功能[J]. 水土保持学报, 2005, 19(3):139-143.
- [6] 吴钦孝,刘向东,苏宁虎,等. 山杨次生林枯枝落叶蓄积量及其水文作用[J]. 水土保持学报, 1992, 6(1):71-76.
- [7] 樊登星,余新晓,岳永杰,等. 北京西山不同林分枯落物层持水特性研究[J]. 北京林业大学学报, 2008, 30(11): 177-181.
- [8] 于明坚,李铭红,常杰,等. 浙江建德青冈常绿阔叶林凋落量研究[J]. 植物生态学报, 1996, 20(2):145-147.
- [9] 赵陟峰,郭建斌,赵廷宁,等. 土桥沟流域不同林分枯落物的水文特性[J]. 西北林学院学报, 2008, 23(6):14-17.
- [10] 田昆,陆梅,常凤来,等. 云南纳帕海岩溶湿地生态环境变化及驱动机制[J]. 湖泊科学, 2004, 16(1):35-42.
- [11] 杨文利. 不同林分枯落物层持水特性研究[J]. 南昌工程学院学报, 2007, 26(6):70-73.
- [12] 杨吉华,张永涛,李红云. 不同林分枯落物的持水性能及对表层土壤理化性状的影响[J]. 水土保持学报, 2003, 17(2):141-144.
- [13] 韩同吉,裴胜民,张光灿. 北方石质山区典型林分枯落物层涵养水分特征[J]. 山东农业大学学报:自然科学版, 2005, 36(2):275-278.