

我国牧草施肥状况和养分需求分析

李书田

(中国农业科学院农业资源与农业区划研究所,北京 100081)

摘要:了解牧草的施肥现状和不同区域及省份牧草的养分需求与养分输出对指导牧草合理施肥,维持草地可持续发展具有重要意义。在参考现有文献资料的基础上,系统分析和总结了多年生禾本科牧草、紫花苜蓿、一年生牧草的氮、磷和钾推荐施肥量、单位产草量的氮、磷和钾移走量;估算、分析和评述了不同区域和省份牧草对氮、磷和钾养分的年需求量、年移走量及其差异,并提出了维持草地养分平衡和牧草可持续生产的施肥建议。此外,对有关牧草施肥现状、牧草施肥量代表性等进行了讨论,并提出加强牧草施肥技术研究,建立牧草需肥特征参数和数据库,为牧草科学施肥提供更多基础资料的建议。

关键词:牧草;施肥状况;养分需求量;养分移走量

中图分类号:S8112.4 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-5500(2024)06-0011-11

DOI:10.13817/j.cnki.cycp.2024.06.002



进入21世纪以来我国牧草面积基本稳定在2000万 hm^2 左右,2016年我国年末种草保留面积约2056万 hm^2 ,干草产量为16405万t,比1990年增加了2倍以上^[1-2]。我国牧草80%以上分布在西北和西南地区,包括内蒙古、甘肃、新疆、青海、宁夏、陕西、四川、云南、贵州。多年生牧草主要以紫花苜蓿(*Medicago sativa*)、披碱草(*Elymus dahuricus*)、柠条(*Caragana korshinskii*)、黑麦草(*Lolium perenne*)、老芒麦(*Elymus sibiricus*)和沙打旺(*Astragalus adsurgens*)等为主,分别占全国种植面积的27%、19%、9%、8%、6%和5%。一年生牧草主要有青贮玉米(*Zea mays*)、多花黑麦草(*Lolium multiflorum*)和燕麦(*Avena sativa*),种植面积分别为227、46和34万 hm^2 ,分别占全国一年生牧草种植面积的52%、11%和8%^[2]。

由于牧草多分布在干旱半干旱地区,除水分影响产草量外^[3],温度、土壤质地及土壤有效养分等对牧草的生产力具有重要影响,尤其施肥可以有效补充土壤养分,使牧草获得更高的生物量,提高牧草产量和品

质^[4-7]。然而,多数研究主要针对某种牧草或混合牧草的施肥效应^[8-14],有关我国牧草的推荐施肥现状和不同区域及省份牧草的养分需求与养分输出研究报道较少。因此,了解主要牧草的推荐施肥量,估算牧草的养分需求量和移走量对指导牧草合理施肥、维持草地养分平衡和畜牧业可持续发展都具有重要意义。

1 牧草推荐施肥状况

我国牧草种类很多,按生长年限主要分多年生牧草和一年生牧草。多年生牧草施肥研究主要集中在无芒雀麦(*Bromus inermis*)^[9,15-16]、雀稗(*Paspalum dilatatum*)^[17]、新麦草(*Psathyrostachys juncea*)^[10,18]、羊草(*Leymus chinensis*)^[18-30]、老芒麦^[11,31-35]、冰草(*Agropyron cristatum*)^[16,31,35-43]、早熟禾(*Poa pratensis*)^[34,44-45]、披碱草^[43,46-47]、狼尾草(*Pennisetum alopecuroides*)^[48-51]、苏丹草(*Sorghum sudanense*)^[52-53]、鸭茅(*Dactylis glomerata*)^[16,54-55]、黑麦草^[49,52-53]等禾本科牧草以及豆科牧草紫花苜蓿^[12,14,43,56-74]。不同多年生禾本科牧草推荐施肥量差异较大(表1),氮肥推荐施用量24~450 kg/hm^2 ,平均172 kg/hm^2 ,变异系数为67%,磷肥推荐施用量24~261 kg/hm^2 ,平均107 kg/hm^2 ,变异系数51%,钾肥推荐施用量12~

收稿日期:2023-11-30;修回日期:2024-03-20

作者简介:李书田(1966-),男,河北固安人,博士,研究员,主要从事植物营养研究。

E-mail:lishutian@caas.cn

300 kg/hm², 平均 105 kg/hm², 变异系数 69%。其他主要多年生禾本科牧草平均推荐施肥量参见表 1。

紫花苜蓿 (*Medicago sativa*) 是主要的多年生豆科牧草, 约占多年生牧草面积的 27%。因此, 紫花苜蓿施肥对豆科牧草生产至关重要。紫花苜蓿氮肥推荐施用量 73 kg/hm², 变异系数 CV70%, 磷肥推荐施用量 92 kg/hm², 变异系数 51%, 钾肥推荐施用量 115 kg/hm², 变异系数 68% (表 1)。不同地区的推荐施肥量存在差异, 紫花苜蓿施肥试验主要集中在西北地区, 如内蒙古紫花苜蓿氮、磷、钾肥推荐施用量为 48 kg/hm²、128 kg/hm² 和 84 kg/hm² [61-66]。甘肃紫花苜蓿氮、磷、钾肥推荐施用量为 91、80 和 79 kg/hm² [67-69]。宁夏试验紫花苜蓿氮、磷、钾肥推荐施用量为 106、79

和 135 kg/hm² [43, 70-71]。新疆试验紫花苜蓿氮、磷、钾肥推荐施用量为 70、101 和 77 kg/hm² [72-74]。还有部分试验分布在东北和华北部分省份 [12, 14, 56-60]。

一年生牧草施肥研究以饲用作物为主 (表 1)。饲用作物中青贮玉米面积约占 89%, 氮、磷、钾推荐施用量为 210、89 和 103 kg/hm², 其次是燕麦, 面积约占 9%, 氮、磷、钾推荐施用量为 168、91 和 61 kg/hm²。另一些一年生牧草, 如黑麦 (*Secale cereale*) 的氮、磷、钾推荐施用量为 196、113 和 75 kg/hm², 莜麦 (*Avena chinensis*) 的氮、磷、钾推荐施用量为 130、88 和 132 kg/hm², 大麦 (*Hordeum vulgare*) 的氮、磷、钾推荐施用量为 189、119 和 75 kg/hm²。其他一年生牧草推荐施肥量参见表 1。

表 1 主要牧草推荐施肥量

Table 1 Average nutrient recommendation for main forage grasses

草种	N		P ₂ O ₅		K ₂ O		数据来源
	推荐量/ (kg·hm ⁻²)	CV/%	推荐量/ (kg·hm ⁻²)	CV/%	推荐量/ (kg·hm ⁻²)	CV/%	
无芒雀麦 (<i>Bromus inermis</i>)	297	45	160	35	75		[9, 15, 16]
雀稗 (<i>Paspalum dilatatum</i>)	49		69		120		[17]
新麦草 (<i>Psathyrostachys juncea</i>)	172	30	93	73			[10, 18]
羊草 (<i>Leymus chinensis</i>)	109	49	111	49	88	54	[18-30]
老芒麦 (<i>Elymus sibiricus</i>)	135	85	85	25	54	27	[11, 31-35]
冰草 (<i>Agropyron cristatum</i>)	143	56	99	63	72	98	[16, 31, 35-43]
早熟禾 (<i>Poa pratensis</i>)	124	129	115	69			[34, 44, 45]
披碱草 (<i>Elymus dahuricus</i>)	132	77	169	47	131	102	[43, 46, 47]
狼尾草 (<i>Pennisetum alopecuroides</i>)	314	48	79	44	105	29	[48-51]
苏丹草 (<i>Sorghum sudanense</i>)	405	16	150	28	270	16	[52-53]
鸭茅 (<i>Dactylis glomerata</i>)	172	50	107	70	162	37	[16, 54, 55]
黑麦草 (<i>Lolium perenne</i>)	224	38	90	41	154	22	[49, 52-53]
多年生禾本科牧草均值 (n=64)	172	67	107	51	105	69	
紫花苜蓿 (<i>Medicago sativa</i>)	73	70	92	51	115	68	[12, 14, 43, 56-74]
青贮高粱 (<i>Sorghum bicolor</i>)	271	50	118	70	136	64	[75]
草谷子 (<i>Setaria italica</i>)	166	65	145	75	93	110	[75]
燕麦 (<i>Avena sativa</i>)	168	50	91	53	61	70	[75]
黑麦 (<i>Secale cereale</i>)	196	29	113	34	75	28	[76-79]
籽粒苋 (<i>Amaranthus hypochondriacus</i>)	120		90		60		[80]
莜麦 (<i>Avena chinensis</i>)	130	38	88	42	132	19	[81-85]
大麦 (<i>Hordeum vulgare</i>)	189	29	119	22	75	68	[86-94]
饲用块根 (茎)	172	39	101	54	131	46	[75]
青贮玉米 (<i>Zea mays</i>)	210	50	89	80	103	114	[75, 95-98]
饲用甘蓝 (<i>Brassica oleracea</i>)	290	46	175	64	237	71	[75]
饲用菠菜 (<i>Spinacia oleracea</i>)	124	46	130	31	180	50	[99-102]

2 牧草对养分的吸收

牧草从土壤和肥料中吸收养分供牧草生长发育,因此,牧草收割后会带走其所吸收的部分养分。表2汇总了主要牧草单位产草量(干草)氮、磷、钾平均移走量。不同牧草氮、磷、钾平均移走量差异很大,现有资料数据表明,禾本科牧草单位产草量N、P₂O₅、K₂O

移走量为21、6和30 kg/t,豆科牧草单位产草量N、P₂O₅、K₂O平均移走量约为30、6、27 kg/t,所有牧草单位产草量N、P₂O₅、K₂O平均移走量约为23、6、29 kg/t(表2)。牧草收获移走养分的数量需通过施肥加以补充,否则,牧草地常年得不到养分的补充就会逐渐耗竭,引起草地土壤养分供应不足,影响产草量、品质和草地可持续发展。

表2 主要饲草干草产草量氮、磷、钾养分移走量平均值

Table 2 The removal of nitrogen, phosphorus and potassium nutrients per unit of hay output of main forages

kg/t

饲草	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	数据来源文献
紫花苜蓿(<i>Medicago sativa</i>)	29	6	25	[14, 56-58, 103-105]
羊草(<i>Leymus chinensis</i>)	20	3	19	[18, 20, 21, 28, 29, 104]
无芒雀麦(<i>Bromus inermis</i> Leyss)	20	5	23	[103, 104, 106]
鸭茅(<i>Dactylis glomerata</i>)	26	6	27	[55, 103, 107]
苏丹草(<i>Sorghum sudanense</i>)	21	8	36	[52, 108, 109]
黑麦草(<i>Lolium perenne</i>)	24	8	38	[52, 61, 103, 108-113]
冰草(<i>Agropyron cristatum</i>)	21	6		[39, 110]
老芒麦(<i>Elymus sibiricus</i>)	16	7		[104, 106, 110, 114]
披碱草(<i>Elymus dahuricus</i>)	17	5		[104, 106, 110]
偃麦草(<i>Elytrigia repens</i>)	22	5		[106, 110]
燕麦(<i>Avena sativa</i>)	14	5		[114, 115]
狼尾草(<i>Pennisetum alopecuroides</i>)	28.3	9		[51, 115, 116]
紫云英(<i>Astragalus sinicus</i>)	31	10	54	[113]
沙打旺(<i>Astragalus adsurgens</i>)	23	2	19	[105]
青贮玉米(<i>Zea mays</i>)	11	4	14	[95, 107, 98, 103, 117, 118]
莜麦(<i>Avena chinensis</i>)	11	3	30	[84]
大麦(<i>Hordeum vulgare</i>)	27	5	28	[89, 119]
青贮高粱(<i>Sorghum bicolor</i>)	25	11	29	[75]
其他谷物	24	10	26	[75]
豌豆(<i>Pisum sativum</i>)	7	2	5	[75]
饲用块根块茎	18	7	18	[120]
饲用甘蓝(<i>Brassica oleracea</i>)	39	19	57	[120]
禾本科牧草平均值 (n=47)	21	6	30	
豆科牧草平均值 (n=17)	30	6	27	
所有牧草平均值 (n=64)	23	6	29	

3 养分年需求量与移走量估算与分析

3.1 养分年需求量

养分年需求量估算是根据推荐施肥量和年末种草保留面积^[2]计算,多年生牧草和一年生牧草推荐施肥量参照各草种引用文献的推荐施肥量的平均值(表1)计算,分省估算牧草的氮(N)、磷(P₂O₅)钾(K₂O)养分需求量:

$$\text{牧草养分年需求量(万t)} = \sum_{i=1}^n A_i \times F_i / 1000$$

式中:*i*为*i*种牧草;*A*为牧草面积(万hm²);*F*为单位面积牧草养分平均推荐量(kg/hm²)。

估算结果表明,区域上,西北地区牧草氮磷钾年需求量最多,约为420万t,其中N 160万t、P₂O₅ 135万t、K₂O 125万t,其次是西南地区,氮磷钾年需求量约为189万t,其中N 76万t、P₂O₅ 53万t、K₂O 60万t,再次为东北地区,氮磷钾年需求量约为51万t,其中N 20万t、P₂O₅ 15万t、K₂O 16万t,华北地区氮磷钾年需求量为43万t,其中N 16万t、P₂O₅ 12万t、K₂O 15万t,长

江中下游地区氮磷钾年需求量为35万t,其中N 17万t、P₂O₅ 7万t、K₂O 11万t。东南地区最少,氮磷钾年需求量仅为7万t,其中N 4万t、P₂O₅ 1万t、K₂O 2万t。全国牧草年需求量为745万t,其中N 293万t、P₂O₅ 224万t、K₂O 228万t(表3)。地区间养分需求差异主要与牧草面积(多年生年末保留种草面积和一年生牧草面积总和)有关^[2],西北地区牧草面积1 213万hm²,产草量(干基,下同)8 702万t,西南地区牧草面积473万hm²,产草量5 754万t,东北地区牧草面积148万hm²,产草量972万t,华北地区牧草面积128万hm²,产草量988万t,长江中下游地区牧草面积80万hm²,产草量1383万t,而东南地区牧草面积15万hm²,产草量297万t,与养分需求量的多少一致。

省级上,西北和西南地区的省份养分年需求较多。内蒙古氮磷钾年需求量最高,达130万t,其中N 50万t、P₂O₅ 40万t、K₂O 41万t。其次为甘肃,氮磷钾年需求量113万t,其中N 44万t、P₂O₅ 39万t、K₂O 31万t,再次为四川,年需求量为91万t,其中N 35万t、P₂O₅ 28万t、K₂O 28万t。西北和西南地区以外的省份氮磷钾年需求量大都不足20万t(表3)。

3.2 养分年移走量

养分移走量根据单位产草量的养分移走量和干草产量^[2]计算。计算时按多年生和一年生禾本科牧草、豆科牧草和其他牧草分别计算。禾本科牧草和豆科牧草各草种单位产草量的养分移走量按引用文献的平均值计算,没有文献资料的禾本科牧草和豆科牧草草种分别按引用文献的禾本科牧草平均值和豆科牧草的平均值计算,没有文献资料的其他草种按所有引用文献的平均值计算(表2)。由于豆科牧草自身固氮,因此豆科牧草的氮素移走量减半计算。

$$\text{牧草养分年移走量(万t)} = \sum_{i=1}^n Y_i \times U_i / 1000$$

式中: i 为 i 种牧草; Y 为牧草干草产量(万t); U 为单位产草量的养分移走量(kg/t)。

计算结果表明,牧草养分年移走量以西北地区最高,氮磷钾年移走量为354万t,其中N 127万t、P₂O₅ 42万t、K₂O 186万t,其次西南地区,氮磷钾年移走量为339万t,其中N 124万t、P₂O₅ 38万t、K₂O 177万t,再次为长江中下游地区,氮磷钾年移走量为82万t,其中N 30万t、P₂O₅ 10万t、K₂O 42万t,华北地区氮磷钾

年移走量为45万t,其中N 16万t、P₂O₅ 5万t、K₂O 24万t,东北地区,氮磷钾年移走量为33万t,其中N 12万t、P₂O₅ 4万t、K₂O 17万t,东南地区最少,氮磷钾年移走量仅为19万t,其中N 8万t、P₂O₅ 3万t、K₂O 9万t。地区间年移走量差异不完全与草地面积有关,而与干草产量和牧草品种有关。全国牧草养分年移走总量为N 317万t、P₂O₅ 102万t、K₂O 454万t,氮磷钾共872万t(表3)。

省级上,西北和西南地区各省份牧草养分年移走量较高,其中以云南最高,氮磷钾移走量约为169万t,其中N 66万t、P₂O₅ 19万t、K₂O 85万t,其次是内蒙古,氮磷钾移走量约为130万t,其中N 47万t、P₂O₅ 16万t、K₂O 67万t,再次为四川,氮磷钾移走量为90万t(其中N 31万t、P₂O₅ 11万t、K₂O 49万t),甘肃为76万t(其中N 25万t、P₂O₅ 9万t、K₂O 42万t),新疆为73万t(其中N 26万t、P₂O₅ 9万t、K₂O 38万t),其他省份牧草氮磷钾移走量在0~35万t(表3)。

3.3 养分年需求量与年移走量差异

养分年需求量代表推荐施肥条件下每年牧草生产需要投入养分的数量,从养分年需求量与养分年移走量的差异可以了解牧草生产中养分的投入/产出平衡状况,从而适当调整养分的投入数量,以维持草地生产中的养分平衡。养分年需求量与养分年移走量的差异表明(表3),氮素东北地区、华北地区、西北地区需求量高于移走量,分别高出8、0、34万t,说明可适当减少氮素投入量。而长江中下游地区、东南地区、西南地区养分移走量高于需求量,分别多出13、4和48万t,说明需要适量增加氮素投入。磷素(P₂O₅)除长江中下游和东南地区移走量略高于需求量外,其他区域磷需求量大于移走量,西北地区需求量大于移走量94万t,其次西南地区,需求量大于移走量14万t,东北和华北地区需求量分别大于移走量11万t和7万t,说明这些地区草地可适量减少磷素投入。钾素(K₂O)各区域移走量均高于需求量,西南地区最多高出117万t,其次是西北地区高出61万t,长江中下游地区高出31万t,华北和东南地区移走量略大于需求量9万t和7万t,说明按照推荐施钾量施用,草地钾素投入将不足,应适当增加钾肥用量以维持草地钾素平衡。全国牧草氮磷钾养分移走量大于需求量127万t,其中N移走量大于需求量24万t、K₂O移走量大于需求量225万t,

表3 牧草氮磷钾需求量、移走量及其差异估算值(万t)

Table 3 The estimated nutrient N, P and K demand, removal and the difference in provincial level ($\times 10^4$ t)

区域	省份	需求量				移走量				需求量-移走量			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	总量	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	总量	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	总量
东北	黑龙江	4	3	4	11	3	1	4	7	2	2	1	4
	吉林	8	6	6	20	5	2	7	14	3	4	-1	6
	辽宁	8	6	6	20	4	1	6	12	4	5	0	8
华北	北京	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	天津	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	河北	8	6	7	21	6	2	7	15	2	4	0	7
	河南	1	1	1	3	1	1	2	4	0	0	-1	-1
	山东	2	1	1	4	2	1	2	5	0	0	-1	0
	山西	5	4	5	14	7	3	12	21	-2	1	-7	-8
长江中下游	上海	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	江苏	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	-1
	浙江	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	安徽	2	1	1	4	2	1	4	7	0	0	-2	-2
	湖北	4	2	3	9	6	2	10	18	-3	0	-7	-9
	湖南	6	2	4	12	13	4	18	35	-7	-2	-14	-23
	江西	5	2	3	10	8	3	10	21	-3	-1	-8	-11
东南	福建	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	广东	1	0	0	2	2	1	2	5	-1	0	-2	-3
	广西	2	1	1	4	5	2	5	12	-2	-1	-4	-8
	海南	1	0	0	1	1	0	1	2	0	0	-1	-2
西南	重庆	1	1	1	3	2	1	3	6	-1	0	-2	-2
	四川	35	28	28	91	31	11	49	90	4	18	-21	1
	贵州	11	6	9	25	23	7	35	66	-13	-2	-26	-41
	云南	25	13	19	57	66	19	85	169	-41	-5	-66	-113
	西藏	4	5	4	13	3	1	4	8	2	4	-1	5
西北	内蒙古	50	40	41	130	47	16	67	130	3	24	-27	0
	陕西	8	8	10	27	14	3	14	31	-6	5	-4	-5
	宁夏	12	8	9	28	7	2	10	19	5	5	-1	9
	甘肃	44	39	31	113	25	9	42	76	19	30	-11	38
	青海	20	20	16	57	8	3	14	25	12	18	2	32
	新疆	26	21	18	65	26	9	38	73	0	11	-19	-8
全国	293	224	228	745	317	102	454	872	-24	122	-225	-127	

而P₂O₅是需求量大于移走量122万t。

省级尺度上,氮素有9个省份需求量与移走量基本一致,其差值小于1万t。有13个省需求量大于移走量,主要在东北和西北地区省份,甘肃省需求量大于移走量最多为19万t,其次青海需求量大于移走量12万t,另外11个省份需求量大于移走量均小于5万t。其余省份氮素移走量大于需求量,云南省氮素移走量比需求量多41万t,其次是贵州,多13万t。全国草地N素移走量大于需求量24万t。磷素有19个省P₂O₅需

求量大于移走量,主要是西北和东北各省,尤其西北地区各省和西南地区的四川省P₂O₅需求量超过移走量5万t以上,其中甘肃省P₂O₅需求量超过移走量约30万t,其次是内蒙古,P₂O₅需求量超过移走量约24万t,再次是四川省和青海省P₂O₅需求量超过移走量为18万t。有8个省P₂O₅移走量大于需求量,主要是长江中下游、西南和东南地区的一些省份,但除云南、湖南和贵州省外,另外5个省牧草P₂O₅移走量超过需求量都在1万t以下。钾素除黑龙江、河北、青海需求

量略大于移走量外,其余省份均为 K_2O 移走量大于需求量。云南省 K_2O 移走量大于需求量67万t,其次是内蒙古、贵州、四川 K_2O 移走量分别大于需求量27、26和21万t,再次是新疆、湖南和甘肃 K_2O 移走量分别大于需求量20、14和12万t,其他省份 K_2O 移走量超过需求量的值大都小于5万t。全国牧草 K_2O 移走量大于需求量225万t。因此,要维持牧草地土壤氮磷钾平衡,实现牧草可持续生产,建议适当增加施氮量、减少和控制施磷量,增加钾素用量。

4 讨论

大田作物养分推荐量、养分需求量和养分移走量研究较多,但有关牧草养分推荐量的研究不多,再加上牧草种类繁多,很多牧草没有推荐施肥研究数据,即使在一些牧草上进行了施肥研究,也很少研究养分含量和养分移走量,牧草养分需求量和移走量研究报道更少。因此,本研究根据现有牧草施肥文献资料,分析总结了主要牧草氮、磷、钾平均推荐施肥量,再根据牧草种植面积估算养分需求量。用主要牧草单位产草量的养分移走量和牧草干草产量估算牧草养分移走量。分析养分需求量和移走量差异,为指导牧草合理施肥提供参考依据。

本研究是假定所有牧草在平均推荐施肥量的前提下对不同区域和省份牧草的养分需求量进行估算。对于氮素,全国尺度上牧草氮素移走量略高于需求量,长江中下游、西南和东南地区多数省份氮素移走量大于需求量,说明按照此研究计算的氮素需求量不足,如果再考虑氮素利用率,则氮素更加缺乏,因此,这些省份的牧草,尤其禾本科牧草,应适当增加氮肥用量,以保证氮素供应充足,实现牧草高产、优质。东北和西北地区氮素需求量高于移走量,可适当减少氮肥投入。对于磷素,多数省份计算的磷素需求量高于移走量,尤其西北地区和东北地区省份,说明这些地区按照推荐施磷量计算的磷需求量会造成草地磷素有盈余,可适当减少磷素投入。长江中下游和东南地区多数省份草地磷需求量与移走量的差异小于1万t,说明推荐施磷可以维持磷素平衡。因此,对高肥力和有效磷含量较高的牧草地,可适当减少磷肥用量,以维持磷素投入/产出平衡,而对于低肥力和有效磷含量较低的牧草地,磷素适当盈余有利于提高草地有

效磷含量和土壤肥力。对于钾素,多数省份牧草地钾素需求量小于移走量,尤其西南和西北地区省份,说明按照推荐施钾量计算的钾素投入量不能弥补牧草对钾素的输出。但不同地区应采取不同施肥措施,如西南地区和长江中下游地区土壤钾含量通常较低,需要投入更多的钾肥以满足牧草需求和增加土壤钾素肥力。而西北地区土壤钾含量较高,只要维持投入/产出平衡即可,也可适当减少钾肥用量,适量消耗土壤钾素,提高钾肥施用效益。

为维持草地养分平衡,还可以直接用牧草养分移走量指导施肥。如果从氮肥利用率较低考虑,则根据氮素移走量确定推荐施氮量会使氮素投入不足(豆科牧草除外),因此,需要考虑当季利用率,增加氮肥投入。例如:氮肥的利用率通常在28%~41%^[121],假设氮肥利用率为35%,则根据移走量确定推荐施氮量为:推荐施氮量=氮移走量 \div 0.35,这样就能够保证氮肥施用充足。磷肥的当季利用率与氮、钾肥相比虽然低很多,但磷和钾一样都具有一定后效,可以逐步被后茬牧草吸收利用,因此,磷、钾可以直接把移走量确定为施肥量,暂不考虑其当季利用率。

本研究不足之处在于:1)有关牧草养分需求量的研究不多,因此本研究利用现有文献中主要牧草的推荐施肥量,在假设所有牧草全面实现推荐施肥量情况下估算和分析牧草的养分需求量。实际上,大多数牧草施肥并不普遍,而每年收获干草带走的养分得不到补充,造成养分连年亏缺,难以维持草地土壤肥力和牧草生产力;2)由于牧草施肥研究资料各地区差异大,西北和西南地区省份牧草施肥研究文献较多,特别是青海、内蒙古、甘肃、新疆、贵州主要牧草产区牧草施肥研究较多,其他地区牧草施肥研究不多,尤其东南地区更少;3)不同牧草品种的施肥研究也有差异,豆科牧草以紫花苜蓿施肥研究较多。多年生牧草中以无芒雀麦、雀稗、新麦草、羊草、老芒麦、冰草、早熟禾、披碱草、狼尾草、苏丹草、鸭茅、黑麦草等施肥研究较多。即使研究资料较多的牧草由于研究地点和条件不同,推荐施肥量也存在一定差异,因此难以准确确定某种牧草的养分推荐量。在此种情况下,本研究根据每种牧草现有资料,用平均推荐施肥量代表这种草种的施肥状况是可行的,以期与同行探讨牧草施

肥的现状和存在问题,当然研究数据越多,平均施肥量的代表性越强,因为相比于大田作物,牧草施肥研究还相当薄弱,一些研究人员也曾依据农作物的推荐施肥量估算农业生产中氮磷钾的需求量^[122-123],其中农作物的推荐施肥量也是依据文献资料计算的平均值,只是农作物施肥研究的资料相对较多。相信今后随着牧草施肥研究越来越多,推荐施肥量的相关资料会更加充实和逐步完善,更能准确预测牧草的养分需求量。本研究虽存不足,但可从宏观上了解我国牧草施肥现状和牧草的养分需求与养分输出状况,为今后牧草生产中养分管理和科学施肥提供依据和参考,并建议加强牧草养分管理和施肥技术研究,建立牧草需肥特征参数和数据库,为牧草科学施肥提供更多的基础资料。

参考文献:

- [1] 沈海花,朱言坤,赵霞,等. 中国草地资源的现状分析[J]. 科学通报,2016,61(2):139-154.
- [2] 全国畜牧总站. 中国草业统计[M]. 北京:中国农业出版社,2016.
- [3] 任继周,林慧龙. 农区种草是改进农业系统—保证粮食安全的重大步骤[J]. 草业学报,2009,18(5):1-9.
- [4] 顾梦鹤,王涛,杜国祯. 施肥对高寒地区多年生人工草地生产力及稳定性的影响[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2010,46(6):59-63.
- [5] 白玉婷,卫智军,刘文亭,等. 草地施肥研究及存在问题分析[J]. 草原与草业,2016,28(2):7-12.
- [6] 徐然然,常生华,贾倩民,等. 施氮和利用方式对黄土高原禾豆混播草地产量、品质和水分利用的影响[J]. 草地学报,2020,28(6):1744-1755.
- [7] 肖祥铭,常生华,贾倩民,等. 利用方式、种植模式和施氮对多年生牧草产量及品质的影响[J]. 草业科学,2021,38(4):703-715.
- [8] 莫本田,罗天琼,韩永芬. 施肥量和施肥方式对人工混播草地产草量的影响[J]. 草业科学,2000,17(4):13-16+20.
- [9] 孙铁军,韩建国,赵守强,等. 施肥对无芒雀麦种子产量及产量组分的影响[J]. 草业学报,2005,14(2):84-92.
- [10] 孙铁军,韩建国,赵守强,等. 施肥对新麦草种子产量及产量组分的影响[J]. 中国草地,2005,27(2):16-21.
- [11] 韩德梁,徐智明,艾琳,等. 磷肥和钾肥对老龄多叶老芒麦牧草生物量和品质的影响[J]. 植物营养与肥料学报,2009,15(6):1486-1490.
- [12] 姜慧新,刘栋,翟桂玉,等. 氮、磷、钾配合施肥对紫花苜蓿产草量的影响[J]. 草业科学,2012,29(9):1441-1445.
- [13] 杨文才,拉巴,魏巍. 氮磷配施对西藏河谷农区燕麦与箭筈豌豆混播产量及品质的影响[J]. 作物杂志,2016(5):75-80.
- [14] 何飞,赵忠祥,康俊梅,等. 氮磷钾配比施肥对紫花苜蓿草产量及品质的影响[J]. 中国草地学报,2019,41(5):24-32.
- [15] 罗凤敏. 水肥调控对无芒雀麦产量及品质特性的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2014.
- [16] 王俭珍. 水肥耦合对6种禾本科牧草种子产量和生产性能的效应[D]. 北京:中国农业大学,2005.
- [17] 余青青. 施肥对毛花雀稗生产性能的影响[D]. 贵阳:贵州大学,2018.
- [18] 李楠,宋建国,刘伟,等. 草原施肥对牧草产量和质量的作用及其经济效益分析[J]. 黑龙江农业科学,2001(2):16-18.
- [19] 张春艳,李子勇,成文革,等. 人工种植羊草草地的不同施肥方法[J]. 吉林畜牧兽医,2007(10):49-50+52.
- [20] 董晓兵,郝明德,郭胜安,等. 氮磷肥配施对羊草干草产量、养分吸收及品质影响[J]. 草地学报,2014,22(6):1232-1238.
- [21] 郭慧慧. 不同施肥对人工羊草地生产力及养分吸收影响的研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2016.
- [22] 白玉婷,卫智军,闫瑞瑞,等. 施肥对羊草割草地牧草产量及品质的影响[J]. 中国草地学报,2017,39(4):60-66.
- [23] 才源,吴海英,曹扬,等. 断根施肥对吉林西部退化羊草草原改良效果的研究[J]. 农业与技术,2020,40(2):42-45.
- [24] 才源,李子勇,张春艳,等. 氮肥与有机肥混施对新建植羊草草原生长的影响[J]. 农业与技术,2020,40(22):123-127.
- [25] 张庆分,董晓兵,郭秀芳,等. 干旱条件下氮磷钾肥对羊草生长的影响[J]. 草学,2018(2):27-32.
- [26] 董祺,齐宝林,高阳,等. 切根与施肥对羊草草甸植被特征和营养成分的影响[J]. 黑龙江畜牧兽医,2017(9):5-11+15.
- [27] 权国玲. 人工施肥对天然羊草草原土壤与植物群落的影响[D]. 兰州:兰州大学,2016.
- [28] 苏富源. 人工羊草地水肥效应研究[D]. 杨凌:西北农林

- 科技大学,2016.
- [29] 温超,单玉梅,高丽娟,等. 施肥对科尔沁羊草割草场植物群落多样性和生产力的影响[J]. 江苏农业科学,2017,45(16):250-254.
- [30] 梁敏,杨瑞霞,许兴,等. 施肥对羊草分蘖及养分的影响[J]. 湖北农业科学,2019,58(3):91-95.
- [31] 贺晓,李青丰,索全义. 旱作条件下施肥对老芒麦和冰草种子产量及构成的影响I-氮、磷、钾对牧草种子产量及构成的影响[J]. 干旱区资源与环境,2001(S1):79-83.
- [32] 李青云,施建军,马玉寿,等. 三江源区人工草地施肥效应研究[J]. 草业科学,2004,21(4):35-38.
- [33] 徐智明,周青平,刘云芬,等. 平衡施肥对老龄多叶老芒麦种子产量的影响[J]. 甘肃农业大学学报,2004,39(6):639-643.
- [34] 纪亚君,汪新川. 平衡施肥对多年生禾本科牧草产量的影响[J]. 青海畜牧兽医杂志,2011,41(3):20-22.
- [35] 师桂花. 施肥对冰草和老芒麦种子质量的影响[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2006.
- [36] 郭宏仙. 播种密度与施肥对蒙古冰草生长及种子繁育特性的影响[D]. 银川:宁夏大学,2023.
- [37] 刘及东,罗丹丹,金晓明,等. 氮肥对根茎冰草生长、生殖及养分积累特征的影响[J]. 中国饲料,2015(13):5-7.
- [38] 张众,云锦凤,逯晓萍,等. 氮磷钾多元复合肥对蒙古冰草种子生产效应研究[J]. 华北农学报,2007,22(z3):41-44.
- [39] 杨晓刚,庄洋,李青山,等. 氮磷钾配比施肥对根茎冰草产量及营养成分的影响[J]. 湖北农业科学,2016,55(3):692-694+698.
- [40] 王润莲. 蒙农杂种冰草施肥效应的研究[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学,2008.
- [41] 伏兵哲,周燕飞,李雪,等. 宁夏引黄灌区羊草水肥耦合效应研究[J]. 草业学报,2020,29(5):98-108.
- [42] 孙铁军,韩建国,赵守强,等. 施肥对扁穗冰草种子产量及其组成因素的影响[J]. 中国农业大学学报,2005,10(3):15-20.
- [43] 陈科元,贾倩民,陈彦云. 施肥对宁夏干旱区弃耕地牧草叶片特征及产量的影响[J]. 北方园艺,2015(13):70-75.
- [44] 闵星星,马玉寿,李世雄,等. 施肥对青海草地早熟禾人工草地种群结构的影响[J]. 青海畜牧兽医杂志,2013,43(2):18-19.
- [45] 景美玲,王彦龙,马玉寿,等. 祁连山区青海草地早熟禾的丰产栽培技术[J]. 西北农业学报,2019,28(1):31-40.
- [46] 施建军,洪绂曾,马玉寿,等. 施肥和杂草防除对三江源区人工草地群落特征的影响[J]. 草地学报,2011,19(5):724-728.
- [47] 陈伟元,王玲,更求巴毛,等. 氮、磷添加对老龄人工草地生产性能的影响[J]. 青海大学学报,2019,37(2):15-21.
- [48] 徐明岗,张久权,文石林. 南方红壤丘陵区人工草地的合理施肥[J]. 中国草地,1998(1):62-66.
- [49] 周自玮,袁福锦,罗在仁,等. 德宏象草氮、磷、钾优化施肥组合试验[J]. 草业科学,2008,25(1):18-21.
- [50] 赵佳. 氮、磷、钾配施对杂交狼尾草品质的影响[D]. 重庆:西南大学,2018.
- [51] 钟小仙,顾洪如,江海东,等. 肥料运筹对杂交狼尾草氮素利用效率和硝酸盐含量的影响[J]. 江苏农业学报,2006,22(4):429-433.
- [52] 李文西,鲁剑巍,鲁君明,等. 江汉平原苏丹草-黑麦草轮作中氮磷钾肥效果及养分利用率[J]. 草地学报,2007,15(5):460-464.
- [53] 杨娟. 施肥对两种轮作牧草的产量和品质效果及其机理研究[D]. 武汉:华中农业大学,2009.
- [54] 张月涛,何静,韩永芬,等. 不同施肥配比对黔草4号鸭茅牧草产量的影响[J]. 畜牧与饲料科学,2015,36(8):37-39.
- [55] 王俊卿,董宽虎. 施肥水平和刈割制度对鸭茅生产性能的影响[J]. 草原与草坪,2000(2):29-31.
- [56] 谢勇,孙洪仁,张新全,等. 坝上地区紫花苜蓿氮、磷、钾肥料效应与推荐施肥量[J]. 中国草地学报,2012,34(2):52-57.
- [57] 张铁军,赵忠祥,龙瑞才,等. 黄淮海地区紫花苜蓿氮磷钾肥料效应与推荐施肥量研究[J]. 草地学报,2019,27(1):243-249.
- [58] 温洋,金继运,黄绍文,等. 不同磷水平对紫花苜蓿产量和品质的影响[J]. 土壤肥料,2005(2):21-24.
- [59] 万井尉. 紫花苜蓿人工草地施肥试验[J]. 现代畜牧兽医,2015(1):10-14.
- [60] 尚晨,张月学,李估恺,等. 施肥对紫花苜蓿产量和品质的影响[J]. 黑龙江农业科学,2013(6):122-126.
- [61] 杨恒山,曹敏建,李春龙,等. 苜蓿施用磷、钾肥效应的研究[J]. 草业科学,2003,20(11):19-22.
- [62] 赵云. 不同施肥管理下苜蓿生产力响应及平衡施肥模型[D]. 北京:中国农业科学院,2013.

- [63] 赵云,谢开云,杨秀芳,等. 氮磷钾配比施肥对敖汉苜蓿产量和品质的影响[J]. 草业科学, 2013, 30(5): 723—727.
- [64] 丁洋,石凤翎,刘昊. 在土默川平原地区配方施肥对苜蓿牧草产量的影响[J]. 草原与草业, 2016, 28(3): 42—50.
- [65] 刘昊. 配方施肥技术在土默川平原地区苜蓿生产中的应用[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2016.
- [66] 孟凯,李星月,冀晓婷,等. 氮、磷、钾配施对草原3号苜蓿干草产量的影响[J]. 中国草地学报, 2019, 41(3): 107—114.
- [67] 寇明科,王安碌,张生臻,等. 不同施肥处理对提高高寒人工混播草地产草量的试验研究[J]. 草业科学, 2003, 20(4): 14—15.
- [68] 刘晓静,张进霞,李文卿,等. 施肥及刈割对干旱地区紫花苜蓿产量和品质的影响[J]. 中国沙漠, 2014, 34(6): 1516—1526.
- [69] 王冰如. 黄土高原半干旱区苜蓿草地产量及土壤质量对氮磷钾施加的响应[D]. 兰州:兰州大学, 2015.
- [70] 孙兆敏,贾志宽,韩清芳,等. 宁南旱作农区不同施肥模式对苜蓿产草量的影响研究[J]. 草业科学, 2005, 22(4): 26—29.
- [71] 贾倩民,陈彦云,陈科元,等. 农牧交错区品种与施肥对牧草适应性及产量的影响[J]. 吉林农业科学, 2014, 39(4): 62—67.
- [72] 张学洲,兰吉勇,张荟荟,等. 不同施肥配比对多叶型紫花苜蓿产量、品质和效益的影响[J]. 现代农业科技, 2016(4): 270—273.
- [73] 杨浩宏. 滴灌下施氮磷钾肥对苜蓿产量和品质的影响[D]. 阿拉尔市:塔里木大学, 2017.
- [74] 孙艳梅,刘选帅,张前兵,等. 施磷对滴灌苜蓿干草产量及磷素含量的影响[J]. 草业学报, 2019, 28(3): 154—163.
- [75] 刘晓永. 中国农业生产中的养分平衡与需求研究[D]. 北京:中国农业科学院研究生院, 2018.
- [76] 李志坚,祝廷成,胡跃高. 不同施肥水平与组合对饲用黑麦生产性能的影响研究I对饲用黑麦产草量的影响[J]. 草业学报, 2003, 12(4): 104—110.
- [77] 杨小辉. 氮素调控对不同收获期小黑麦产量及品质的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学, 2012.
- [78] 游永亮,李源,赵海明,等. 海河平原区施氮磷肥对饲用小黑麦生产性能及营养品质的影响[J]. 草业学报, 2020, 29(3): 137—146.
- [79] 孟祥君,韩天虎,俞联平,等. 播种量、行距和施肥对甘引1号黑麦地上生物量的影响[J]. 中国草食动物科学, 2016, 36(6): 34—36.
- [80] 李明雨. 氮磷钾配施对籽粒苋生产性能的影响[D]. 银川:宁夏大学, 2020.
- [81] 张昆,刘小三,郑伟,等. 播种量和施肥对丘陵红壤区裸燕麦产量和主要性状的影响[J]. 江西农业学报, 2012, 24(12): 15—17.
- [82] 黄桂莲,王雁丽,田宏先. 不同施肥量对裸燕麦丰产效果的影响[J]. 山西农业科学, 2012, 40(2): 120—122.
- [83] 王盼忠,徐惠云. 氮磷钾肥配合施用对莜麦生长发育及产量的影响[J]. 农业科技通讯, 2016(11): 120—123.
- [84] 张文明. 甘肃半干旱地区裸燕麦吸肥特性及施肥效应的研究[D]. 兰州:甘肃农业大学, 2007.
- [85] 王殿武,刘树庆,文宏达,等. 高寒半干旱区莜麦田施肥效应[J]. 河北农业大学学报, 1999, 22(3): 1—4.
- [86] 陈志伟,施晓钟,陈银华,等. 不同播期、密度和施肥量对大麦新品种“花11”产量和品质的影响[J]. 上海农业学报, 2009, 25(4): 18—21.
- [87] 鲁泽刚,周龙,杨丽梅. 不同施肥水平对大麦产量的影响及肥料效应[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2018, 49(5): 744—749.
- [88] 杨新平,邱艳,余正美. 大麦测土配方施肥“3414”田间试验研究[J]. 农业开发与装备, 2016(10): 103—109.
- [89] 周杰. 氮钾对大麦养分吸收分配及产量和品质的影响[D]. 大庆:黑龙江八一农垦大学, 2010.
- [90] 王仙,聂石辉,张金汕,等. 氮磷钾肥配施对旱田大麦农艺性状和产量的影响[J]. 新疆农业科学, 2017, 54(11): 2028—2035.
- [91] 于国琦. 肥料运筹对大麦产量和品质的影响研究[D]. 扬州:扬州大学, 2021.
- [92] 苏永中,秦来寿,顿志恒. 甘肃河西灌区啤酒大麦施钾效应研究[J]. 土壤肥料, 2001, 1(2): 39—40.
- [93] 李利新. 河谷区大麦测土配方施肥3414试验[J]. 云南农业, 2013(2): 40—41.
- [94] 陈冬峰,杨劲松. 江苏沿海滩涂地区大麦平衡施肥研究[J]. 土壤, 2001, 33(5): 278—280.
- [95] 邵书静. 氮磷钾配施对饲用玉米产量和品质的影响[D]. 杨凌:西北农林科技大学, 2007.
- [96] 韩宝萍,公未未,柳金财,等. 内蒙古锡林浩特市水浇地青贮玉米施肥指标体系的建立[J]. 畜牧与饲料科学, 2018, 39(7): 65—69.
- [97] 孙惠民. 阿克苏地区玉米肥料利用效率研究[D]. 乌鲁木齐:新疆农业大学, 2023.

- [98] 李慧静. 内蒙古东部区青贮玉米品种的优选及优化施肥管理[D]. 呼和浩特:内蒙古农业大学, 2023.
- [99] 苏欣. 氮肥水平对几种蔬菜产量、品质的影响[D]. 武汉:华中农业大学, 2007.
- [100] 袁伟,董元华,王辉. 菠菜对不同施肥模式的响应及其生态化学计量学特征研究[J]. 中国农学通报, 2010, 26(10):164-170.
- [101] 李殿波,郑禾,李海东,等. 不同施肥处理对菠菜硝酸盐及亚硝酸盐含量的影响[J]. 北方园艺, 2014(3):166-168.
- [102] 张战胜,宋光雷. 基于高效土壤养分测试技术的优化施肥在菠菜上的应用效果[J]. 浙江农业科学, 2017, 58(1):59-61.
- [103] International Plant Nutrition Institute (IPNI). 4R Nutrient Stewardship — Update Metric Version of 4R Plant Nutrition Manual, Metric Version [M]. USA: IPNI, 2012:4-9.
- [104] 陈玲玲,乌艳红,乌仁图雅,等. 主要栽培牧草饲用价值的比较研究[J]. 饲料研究, 2013(2):74-76.
- [105] 贾恒义,程浦海,穆兴民,等. 紫花苜蓿、沙打旺对施入营养元素效应的初步研究[J]. 水土保持研究, 1994, 1(3):120-127.
- [106] 谢楠,刘振宇,冯伟,等. 张家口坝上地区不同禾草生产性能及营养品质评价[J]. 草原与草坪, 2022, 42(2):28-33.
- [107] 乌恩,菅原和夫,云锦凤. 放牧因子与VA菌根的相互作用对鸭茅养分吸收和生长发育的影响[J]. 干旱区资源与环境, 2007, 21(11):136-140.
- [108] 李小坤. 两种鱼用饲草的养分吸收规律及平衡施肥研究[D]. 武汉:华中农业大学, 2006.
- [109] 李文西,鲁剑巍,鲁君明,等. 苏丹草-黑麦草轮作制中施肥对饲草产量、养分吸收与土壤性质的影响[J]. 作物学报, 2009, 35(7):1350-1356.
- [110] 乌云高娃,吴艳玲,余红梅,等. 内蒙古呼伦贝尔地区6种禾本科牧草营养成分分析[J]. 畜牧与饲料科学, 2017, 38(2):50-52.
- [111] 杨曾平,聂军,廖育林,等. 不同施肥量对稻田一年生黑麦草产量及氮磷钾吸收的影响[J]. 中国农学通报, 2015, 31(30):173-180.
- [112] 曹景勤. 低丘红壤氮磷配比施用对黑麦草产量和植株养分累积的影响[J]. 中国草地, 1994(6):28-31.
- [113] 童文彬,王建红,张海燕,等. 红壤生地种植不同品种绿肥的产量和养分累积差异[J]. 浙江农业科学, 2019, 60(8):1329-1331.
- [114] 刘刚,赵桂琴,白史且,等. 川西北高寒牧区冬春补饲饲草营养价值的综合评价[J]. 草业科学, 2009, 26(7):94-98.
- [115] 代新兰,冉雪琴,王嘉福. 贵州石阡县五老山21种牧草生物学性状及营养价值综合评价[J]. 广东农业科学, 2013, 40(17):115-119.
- [116] 钟小仙,江海东,曹卫星,等. 施肥和刘割日期对杂交狼尾草钙、磷、镁含量的影响及其与家畜需要的关系[J]. 草业学报, 2005, 14(5):87-91.
- [117] 刘汝亮,王英,周丽娜,等. 控释氮肥对引黄灌区麦后复种青贮玉米养分吸收和品质的影响[J]. 宁夏农林科技, 2023, 64(1):5-7+15.
- [118] 吴欣明,刘建宁,董宽虎,等. 饲用玉米生产性能与营养价值评定[J]. 中国草食动物, 2005, 25(4):39-42.
- [119] 何宗仁,李彦荣,吴晓琴,等. 大麦营养元素的测定和调节平衡施肥[J]. 大麦科学, 1995(4):31-33.
- [120] 何萍,徐新朋,周卫. 肥料养分推荐原理及应用[M]. 北京:科学出版社, 2021.
- [121] 朱兆良. 中国土壤氮素研究[J]. 土壤学报, 2008, 45(5):778-783.
- [122] 张卫峰,马文奇,王雁峰,等. 基于CBEM模型的2010年农田化肥需求预测[J]. 2008, 14(3):407-416.
- [123] 李书田,刘晓永,何萍. 当前我国农业生产中的养分需求分析[J]. 植物营养与肥料学报, 2017, 23(6):1456-1472.

Analysis on current fertilization and nutrient requirement for forage grasses in China

LI Shu-tian

(*Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China*)

Abstract: Understanding current status of fertilizer recommendation in forage grasses and the nutrient demand and removal of forage grasses in various regions and provinces is of great significance for guiding rational fertilization of forage grasses and maintaining sustainable development of grasslands. Based on existed literature, this paper systematically analyzed and summarized the recommended rates of nitrogen, phosphorus and potassium fertilization and the amount of nitrogen, phosphorus and potassium removal per unit yield of harvested hay for perennial forage grasses, alfalfa, and annual forage grasses. This paper also estimated, analyzed and evaluated the annual nutrient demand, annual removal, and their differences of forage grasses at the regional and the provincial level, and proposed suggestion for forage fertilization to maintain grassland nutrient balance and sustainable grass production. In addition, the shortcomings of this study and the representative fertilizer recommendation rates for various grasses were discussed. It is recommended to strengthen research on fertilization techniques for forages and establish characteristic parameters and databases for fertilizer requirements, in order to provide more basic information for scientific fertilization in forage grasses.

Key words: forage; fertilization; nutrient demand; nutrient removal

(责任编辑:康宇坤)