团 体 标 准

《草地测土施肥技术规程 杂交狼尾草》

编制说明

《草地测土施肥技术规程 杂交狼尾草》团标制定组

二〇二六年十一月

目　次

一、工作简况：包括任务来源、协作单位、主要工作过程、起草组成员及其所做的主要工作等 1
1.任务来源 1
2.起草单位、协作单位 1
3.起草组成员及其所做的主要工作 1
4.主要工作过程 2
4.1 收集文献资料及国内外相关草产品质量标准 2
4.2 开展杂交狼尾草肥效试验研究，确定推荐施肥标准 2
4.3 起草标准 3
4.4 立项审定 3
4.5 公开征求意见 4
二、标准编制原则和确定标准主要内容（如技术指标、参数、公式、性能要求、试验方法、检验规则等）的论据；标准修订项目还应当列出新、旧标准水平的对比 4
1.编制原则 4
2.确定标准主要内容 4
2.1 范围的确定 4
2.2 土壤养分诊断 5
2.3 推荐施肥量 18
三、主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果 22
3.1 试验设计 22
3.2 氮磷钾的产量响应 24
3.3 养分利用效率 26
四、标准涉及的相关知识产权说明 28
五、采用国际国内标准的程度与水平的简要说明，与现行有关法律法规和强制性标准的关系 28
六、重大意见分歧的处理经过和依据 28
七、实施建议 28
八、其他应予说明的事项 28

一、工作简况：包括任务来源、协作单位、主要工作过程、起草组成员及其所做的主要工作等

1.任务来源

2024年11月，由中国农业科学院北京畜牧兽医研究所向中国草学会提交团体标准的立项申请，2024年11月15日，中国草学会组织专家评审会通过立项申请，批准《草地测土施肥技术规程 杂交狼尾草》团体标准的制订。

2.起草单位、协作单位

起草单位：中国农业科学院北京畜牧兽医研究所。

参编单位：四川省农业科学院农业资源与环境研究所、重庆市畜牧科学院、中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所、云南省草地动物科学研究院、芒市禾牛科技有限责任公司。

3.起草组成员及其所做的主要工作

在标准的起草过程中由中国农业科学院北京畜牧兽医研究所牵头，与四川省农业科学院农业资源与环境研究所、重庆市畜牧科学院、中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所、云南省草地动物科学研究院和芒市禾牛科技有限责任公司共同成立了标准起草小组，成员包括何峰、仝宗永、王瑜、朱永群、陈积山、董荣书、张美艳、汤守锟、柴旭旭9人。标准起草小组围绕该标准内容制定了详细的实施方案和技术路线。中国农业科学院北京畜牧兽医研究所

负确定技术指标、样本分析、组织撰写标准、意见汇总等工作，由四川省农业科学院农业资源与环境研究所、重庆市畜牧科学院、中国热带农业科学院热带作物品种资源研究所、云南省草地动物科学研究院和芒市禾牛科技有限责任公司负责资料的收集和整理工作。

4.主要工作过程

工作过程简述如下：

4.1 收集文献资料及国内外相关草产品质量标准

标准起草小组收集了国内外杂交狼尾草田间管理以及测土施肥等方面的研究文献和资料，收集整理了国内外杂交狼尾草测土施肥指标体系，以及测土配方施肥实施方案，进行了细致的分析和评价。

4.2 开展杂交狼尾草肥效试验研究，确定推荐施肥标准

2023 年以调查问卷的形式对杂交狼尾草主要种植区域的水肥管理状况进行了调研，共收集有效调查问卷 18 份。2023 年 11 月，在中国草学会饲料生产专业委员会的支持下，起草小组主要负责人在贵州省贵阳市成功举办了杂交狼尾草生产论坛，期间还实地考察了贵州省关岭县的 2 个杂交狼尾草种植基地，并对其养分管理状况进行了详细调查，据此形成了杂交狼尾草生产现状及潜力的调研报告。2024 年 8 月，起草小组主要负责人前往云南省德宏州、保山市以及广西壮族自治区南宁市和崇左市共计 5 个杂交狼尾草基地进

行现场考察与数据收集，重点关注基地杂交狼尾草的养分管理水平。

同时，查阅了截至2024年国内外公开发表的杂交狼尾草肥效试验研究文献。此外，自2023年起至2024年间，在中国农业科学院河北廊坊草业基地内连续两年开展了针对杂交狼尾草氮磷钾肥的“3414”试验，对于所形成《草地测土施肥技术规程 杂交狼尾草》（草案）进行实地验证，旨在进一步优化杂交狼尾草的测土配方施肥体系。

土壤养分诊断和推荐施肥的方法和指标是本标准的核心。土壤取样、测定的方法均引用已经颁布的国家标准或行业标准，养分诊断指标是在统计分析实验数据基础上，广泛征求专家意见，经过反复验证、修改而确定，尽可能符合国内土壤条件和杂交狼尾草生产的实际。

4.3 起草标准

在查阅文献材料和标准起草组前期工作结果基础上，起草组按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草编写标准文本内容和编制说明内容，形成《草地测土施肥技术规程 杂交狼尾草》（草案），提交至中国草学会进行团体标准立项评审。

4.4 立项审定

2024年11月15日，中国草学会组织专家对该标准进

行立项评审，专家组由李子忠(组长)、郭强、黄顶、刘丽、潘庆民、王成杰、徐丽君、尹淑霞和张微9人组成。专家组在听取标准起草专家汇报的基础上，逐段逐句对标准草案进行了认真的讨论和修改。本次会议共收到11条意见，采纳意见11条、不采纳0条。根据专家组的意见，再次修改，形成征求意见稿。

4.5 公开征求意见

2026年11月，中国草学会对标准文本和编制说明（征求意见稿）进行公开征求意见。

二、标准编制原则和确定标准主要内容（如技术指标、参数、公式、性能要求、试验方法、检验规则等）的论据；标准修订项目还应当列出新、旧标准水平的对比

1.编制原则

本标准制定按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》进行编写，力求结构严谨，文字简洁易懂，逻辑清晰，引用文件规范、准确。本标准的整个起草过程中严格遵循“科学性、合理性、先进性、实用性、普遍性”的原则，对标准从全面性、简便性、广泛性等方面进行了综合考虑，确保标准发布实施后能够得到有效应用。

2.确定标准主要内容

2.1 范围的确定

按照GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标

准化文件的结构和起草规则》中“范围这一要素用来界定文件的标准化对象和所覆盖的各个方面，并指明文件的适用界限”的有关规定，鉴于之前发布的农业行业标准《草地测土施肥技术规程 紫花苜蓿》，最终范围确定为规定了人工种植的杂交狼尾草（*Pennisetum americanum* × *P . purpureum*）草地土壤养分诊断和推荐施肥的方法和指标。标准适用于杂交狼尾草草地的土壤养分诊断和推荐施肥。

2.2 土壤养分诊断

2.2.1 土壤测试指标

在充分考虑重要性和可行性的基础上，将土壤有机质、pH、碱解氮、有效磷、速效钾定为土壤检测项目。

2.2.2 土壤采样时间

根据生产上的可操作性、土壤有效养分变化规律确定以及农业行业标准 NY/T 2700《草地测土施肥技术规程 紫花苜蓿》中土壤采样时间为“种植前的土壤测试应在播前一个月进行”。种植前的土壤测试应在播前 1 个月进行，主要针对杂交狼尾草种植时的推荐施肥。

2.2.3 土壤采样深度

农业部制订的《测土配方施肥技术规范》2011 年修订版中大田作物土壤采样深度为 0 cm～20 cm，考虑到杂交狼尾草的根系相对较深，可以从深层土壤吸收营养的特点，本标准将土壤采样深度设为 0 cm～30 cm。

2.2.4 土壤测定方法

2.2.4.1 土壤样品的采集、处理和贮藏

本标准中土壤样品的采集方法主要依据农业行业标准NY/T 1121.1《土壤检测 第 1 部分：土壤样品的采集、处理和贮藏》。具体的操作过程：

（1）土壤样品的采集

土壤样品采样时遵循“随机”、“等量”、“多点混合”的原则，沿着“S”型路线布点采样。每一个样有 15 个～20 个取样点采土混匀。采样点分布均匀，避免了在田埂、沟边和特殊地形部位采样。采样时用土钻一次性取 0 cm～20 cm 深度。每一个混合土样用四分法将多余的土壤摒弃，只保留 1 kg 左右。采集的样品放入样品袋，用记号笔写好标签，注明采样地点，日期，采样深度，土壤名称，编号和采集人，同时做好采样记录。在草地上发生局部死苗、失绿等与周围植物有明显区别的现象时，在发生异常现象的范围内，采集典型土壤样品，多点混合，同时，在附近采集正常土壤作为对照，目的是为查明原因。

（2）样品的储藏与处理

从野外采回来的土样及时的放入样品盘，置于干净整洁的室内通风处自然风干。在风干过程中频繁的翻动土样将大块土壤碎化以加速干燥。风干后的土样按照不同的分析要求研磨过筛，充分混匀后，放入样品瓶中备用。瓶内

外各具标签一张，写明编号，采样地，土壤名称，采样深度，样品粒径，采样日期，制样时间等。过筛前，将风干后的样品平铺在制样板上，用木棍和塑料滚碾压，并将植物残体，石块等剔除，将细小已断的植物根系用静电吸的方法清除。压碎的土样全部通过 2 mm 孔径筛。未过筛的土粒也全部重新碾压过筛，直至全部样品通过 2 mm 孔径筛为止。过 2 mm 孔径筛的土样主要测定水解性氮、pH 两个指标。将通过 2 mm 孔径筛的土样用四分法取出一部分继续碾磨，使之全部过 1 mm 的孔径筛，供有效磷和速效钾项目测定。将通过 1 mm 孔径筛的土样用四分法取出一部分继续用玛瑙研钵磨细，使之全部通过 0.25 mm 孔径筛，用于有机质测定。

2.2.4.2 土壤 pH 的测定

本标准中土壤样品的土壤 pH 的测定方法主要依据农业行业标准 NY/T 1121.2《土壤检测 第 2 部分：土壤 pH 的测定》。具体的操作过程分为 3 步：

（1）称取经 105℃烘干的苯二甲酸氢钾（$KHC_8H_4O_4$）10.21 g，用蒸馏水溶解后稀释至 1000 mL，即为 pH 4.01 标准缓冲液。称取在 45℃烘干的磷酸二氢钾（KH_2PO_4）3.39 g 和无水磷酸氢二钠（Na_2HPO_4）3.53 g，溶解在蒸馏水中，定容至 1000 mL，即为 pH 6.87 标准缓冲液。称 3.80 g 硼砂（$Na_2B_4O_7·10H_2O$）溶于蒸馏水中，定容至 1000 mL，即为

pH 9.18 标准缓冲液。

（2）将仪器温度补偿器调节到试液、标准缓冲溶液同一温度值。将电极插入 pH 4.01 的标准缓冲溶液中，调节仪器，使标准溶液的 pH 值与仪器标示值一致。移出电极，用水冲洗，以滤纸吸干，插入 pH 6.87 标准缓冲溶液中，检查仪器读数，两极标准液之间允许绝对差值 0.1 pH 单位。反复几次，直到仪器稳定。

（3）称取通过 2 mm 孔径筛的风干土 10.00 g（精确至 0.01 g）于 50 mL 高型烧杯中，加去除 CO_2 的水 25 mL（土液比为 1:2.5），用搅拌器搅拌 1 min，使土粒充分分散，放置 30 min 后进行测定。将电极插入试样悬液中（注意玻璃电极球泡下部位于土液界面处，甘汞电极插入上部清液），轻轻转动烧杯以除去电极的水膜，促使快速平衡，静置片刻，按下读书开关，待读数稳定时记下 pH 值。

2.2.4.3 土壤有机质的测定

本标准中土壤样品的土壤有机质的测定方法主要依据农业行业标准 NY/T 1121.6《土壤检测 第 6 部分：土壤有机质的测定》。具体的操作过程分为 2 步：

（1）0.4 mol/L 重铬酸钾-硫酸溶液：称取重铬酸钾 40.0 g，溶于 600～800 mL 蒸馏水中，待完全溶解后加水稀释至 1 L，将溶液移入 3 L 大烧杯中；另取 1 L 比重为 1.84 的浓硫酸，慢慢地倒入重铬酸钾水溶液内，不断搅动，为

避免溶液急剧升温，每加约 100 mL 硫酸后稍停片刻，并把大烧杯放在盛有冷水的盆内冷却，待溶液的温度降到不烫手时再加另一份硫酸，直到全部加完为止。重铬酸钾标准溶液：称取经 130℃烘 2-3 h 的优级纯重铬酸钾 4.904 g，先用少量水溶解，然后移入 1 L 容量瓶内，加水定容。此溶液浓度 c（1/6$K_2Cr_2O_7$）＝0.1000 mol/L。硫酸亚铁标准溶液：称取硫酸亚铁 28.0 g，溶于 600～800 mL 水中，加浓硫酸 20 mL，搅拌均匀，加水定溶至 1 L（必要时过滤），贮于棕色瓶中保存。此溶液易受空气氧化，使用时必须每天标定一次准确浓度。

（2）称取通过 0.25 mm 孔径筛的风干试样 0.05～0.5 g，精确到 0. 0001 g。倒入干的硬质试管中，用移液管准确加入 0.4 mol/L 重铬酸钾-硫酸溶液 10 mL 摇匀，（在加入约 3 mL 时，摇动试管，以使土壤分散），然后在试管口加一小漏斗。预先将液体石蜡油或植物油浴锅加热至 185～190℃，将试管放入铁丝笼中，然后将铁丝笼放入油浴锅中加热，放入后温度应控制在 170～180℃，待试管中液体沸腾发生气泡时开始计时，消煮 5±0.5 min，取出试管，稍冷，擦净试管外部油液。冷却后，将试管内容物小心仔细地全部洗入 250 mL 的三角瓶中，使瓶内总体积在 50-60 mL，保持其中硫酸浓度为 1-1.5 mol/L，此时溶液的颜色应为橙黄色或淡黄色。然后加邻啡罗啉指示剂 3-4 滴，用 0.2 mol/L 的标

准硫酸亚铁溶液滴定，溶液由黄色经过绿色、淡绿色突变为棕红色即为终点，然后代入公式计算出土壤有机质的含量。

2.2.4.4 土壤碱解氮的测定

本标准中土壤样品的土壤水解性氮的测定方法主要依据林业行业标准 LY/T 1228《森林土壤氮的测定》中的水解性氮的测定部分。具体的操作过程分为 2 步：

（1）1.8mol/L 氢氧化钠溶液：72.0 g 氢氧化钠（NaOH，分析纯）溶解于水，稀释至 1L。1.2 mol/L 氢氧化钠溶液：48.0g 氢氧化钠（NaOH，分析纯）溶解于水，稀释至 1L。锌一硫酸亚铁还原剂：50.0g 磨细并通过 0.25 mm 筛孔的硫酸亚铁（FeSO4·7H2O，化学纯）及 10.0 g 锌粉（化学纯）混匀，贮于棕色瓶中。

（2）称取通过 2mm 筛孔的风干土样 1.00-2.00g 均匀地平铺于扩散皿外室，在土壤外室内加 1g 锌-硫酸亚铁还原剂平铺土样上。同时做两个试剂空白试验。加 3 mL 20 g/L 硼酸一指示剂溶液子扩散皿内室。在扩散皿外室边缘上方涂碱性胶液，盖好毛玻璃并旋转数次，使毛玻璃与皿边完全粘合。然后慢慢转开毛玻璃的一边，使扩散皿的一边露出一条狭缝，在此缺口加人 10.0mL 1.8 mol/L 氢氧化钠溶液于皿的外室，立即把毛玻璃盖严。水平地轻轻转动扩散皿，使溶液与土样充分混合，然后小心地用橡皮筋二根交叉成

十字形圈紧，使毛玻璃固定。放在恒温箱中，于40℃保温24h，在此期间应间歇地水平轻轻转动3次。用0.01mol/L盐酸标准溶液滴定内室硼酸中吸收的氨量，颜色由蓝变紫红，即达终点。滴定时应用细玻璃棒搅动内室溶液，不宜摇动扩散皿，以免溢出，接近终点时用玻璃棒少沾滴定管尖端的标准酸溶液，以防滴过终点。最后用公式计算出土壤中水解性氮的含量。

2.2.4.5 土壤有效磷的测定

本标准中土壤样品的土壤有效磷的测定方法主要依据农业行业标准NY/T 1121.7《土壤检测 第7部分：土壤有效磷的测定》。

酸性土壤（pH＜6.5）有效磷的测定：

（1）浸提剂及主要试剂配制：称取1.11 g氟化铵溶于400 mL水中，加入2.1 mL盐酸（ρ=1.19 g/mL），用水稀释至1 L，贮存于塑料瓶中，即为氟化铵-盐酸浸提剂。另称取30.0 g硼酸，在60℃左右热水中溶解，冷却后稀释至1 L，得30 g/L硼酸溶液。钼锑抗显色剂按标准配制：称取10.0 g钼酸铵溶于300 mL约60℃的水中，冷却；另量取126 mL硫酸（ρ=1.84 g/mL），缓缓倒入约400 mL水中，搅拌、冷却；将硫酸溶液缓缓倒入钼酸铵溶液中，再加入100 mL酒石酸锑钾溶液（5 g/L），冷却后用水定容至1 L，摇匀，贮于棕色试剂瓶中，得硫酸钼锑贮备液；称取1.5 g抗坏血酸

溶于 100 mL 硫酸钼锑贮备液中，现配现用。同时配制二硝基酚指示剂、硫酸溶液（5%，V/V）和氨水溶液（1+3）。

（2）标准曲线绘制：分别吸取 5 mg/L 磷标准溶液 0.00、1.00、2.00、4.00、6.00、8.00、10.00 mL 于 50 mL 容量瓶中，加入 10 mL 氟化铵-盐酸浸提剂，再加入 10 mL 硼酸溶液，摇匀，加水至约 30 mL，加入二硝基酚指示剂 2 滴，用硫酸溶液或氨水溶液调节溶液刚显微黄色，加入钼锑抗显色剂 5.00 mL，用水定容至刻度，充分摇匀。此标准系列溶液中磷的浓度依次为 0.00、0.10、0.20、0.40、0.60、0.80、1.00 mg/L。在室温高于 20℃条件下静置 30 min 后，用 1 cm 光径比色皿在波长 700 nm 处，以标准溶液的零点调零后进行比色测定，绘制标准曲线，并计算直线回归方程。

（3）土样测定：称取通过 2 mm 筛孔的风干试样 5.00 g，置于 200 mL 塑料瓶中，加入（25±1）℃的氟化铵-盐酸浸提剂 50.00 mL，在（25±1）℃条件下振荡 30 min，振荡频率为（180±20）r/min。立即用无磷滤纸干过滤。吸取滤液 10.00 mL 于 50 mL 容量瓶中，加入 10 mL 硼酸溶液，摇匀，加水至约 30 mL，加入二硝基酚指示剂 2 滴，用硫酸溶液和氨水溶液调节溶液刚显微黄色，加入钼锑抗显色剂 5.00 mL，用水定容。在室温高于 20℃条件下静置 30 min 后，用 1 cm 光径比色皿在波长 700 nm 处比色测定。同时做空白试验，除不加试样外，其他步骤同上。若测定磷质量浓度

超出标准曲线范围，应用浸提剂将试样溶液稀释后重新比色测定。

中性、石灰性土壤（pH≥6.5）有效磷的测定：

（1）浸提剂及主要试剂配制：称取 42.0 g 碳酸氢钠溶于约 950 mL 水中，用氢氧化钠溶液（100 g/L）调节 pH 至 8.5，用水稀释至 1 L，贮存于聚乙烯瓶或玻璃瓶中，即为 0.50 mol/L $NaHCO_3$浸提剂（pH=8.5）。若贮存期超过 20 d，使用前必须检查并校准 pH。钼锑抗显色剂按标准配制：称取 10.0 g 钼酸铵溶于 300 mL 约 60℃的水中，冷却；另量取 181 mL 硫酸（ρ=1.84 g/mL），缓缓倒入约 800 mL 水中，搅拌、冷却；将硫酸溶液缓缓倒入钼酸铵溶液中，再加入 100 mL 酒石酸锑钾溶液（3 g/L），冷却后用水定容至 2 L，摇匀，贮于棕色试剂瓶中，得钼锑贮备液；称取 0.5 g 抗坏血酸溶于 100 mL 钼锑贮备液中，现配现用。

（2）标准曲线绘制：分别吸取 5 mg/L 磷标准溶液 0.00、0.50、1.00、2.00、3.00、4.00、5.00 mL 于 25 mL 容量瓶中，加入碳酸氢钠浸提剂 10.00 mL，加入钼锑抗显色剂 5.00 mL，慢慢摇动，排出 CO_2后加水定容。此标准系列溶液中磷的浓度依次为 0.00、0.10、0.20、0.40、0.60、0.80、1.00 mg/L。在室温高于 20℃条件下静置 30 min 后，用 1 cm 光径比色皿在波长 880 nm 处，以标准溶液的零点调零后进行比色测定，绘制标准曲线，并计算直线回归方程。

（3）土样测定：称取通过 2 mm 筛孔的风干试样 2.50 g，置于 200 mL 塑料瓶中，加入（25±1）℃的碳酸氢钠浸提剂 50.00 mL，在（25±1）℃条件下振荡 30 min，振荡频率为（180±20）r/min。立即用无磷滤纸干过滤。吸取滤液 10.00 mL 于 50 mL 容量瓶或锥形瓶中，缓慢加入钼锑抗显色剂 5.00 mL，慢慢摇动，排出 CO_2，再加入 10.00 mL 水，充分摇匀，逐净 CO_2。在室温高于 20℃条件下静置 30 min 后，用 1 cm 光径比色皿在波长 880 nm 处比色测定。同时做空白试验，除不加试样外，其他步骤同上。若测定磷质量浓度超出标准曲线范围，应用浸提剂将试样溶液稀释后重新比色测定。

2.2.4.6 土壤速效钾的测定

本标准中土壤样品的土壤速效钾的测定方法主要依据农业行业标准《NY/T 889 土壤速效钾和缓效钾含量的测定》。具体的操作过程分为 3 步：

（1）称 77.08 g NH_4OAc 溶于近 1 L 水中，用稀 HOAc 或 NH_4OH 调节至 pH 7.0，用水定容至 1 L，即为中性 1.0 mol/LNH_4OAc 溶液。然后称取 0.1907 g KCl 溶于 1 mol/LNH_4OAc 溶液中，完全溶解后用 1 mol/LNH_4OAc 溶液定容至 1 L，即为含 100 mg /L K 的 NH_4OAc 溶液。

（2）分别吸取钾标准溶液体积（mL）: 0.00、3.00、6.00、9.00、12.00、15.00 于 50 mL 容量瓶中，用乙酸铵溶

液定溶，即为浓度（ug/mL）0、6、12、18、24、30 的钾标准系列溶液。以钾浓度为 0 的溶液调节仪器零点。钾标准系列溶液一起在火焰光度计上进行测定，在方格纸上绘制成标准曲线。

（3）称取过 1 mm 孔径风干土样 5.00 g 于 150 mL 三角瓶中，加 1 mol/LNH_4OAc 溶液 50.0 mL（土液比为 1:10），用橡皮塞塞紧，在 20℃～25℃下，150 r/min～180 r/min 振荡 30 min，用干滤纸过滤。将滤液在火焰光度计上进行测定，根据待测液的读数值在标准曲线上查出相对应的 mg/L 数，并计算出土壤中速效钾的含量。

2.2.5 诊断分级

根据农业部制订的《测土配方施肥技术规范》2011 年修订版中的**土壤养分丰缺指标法**，用缺素区产量占全肥区产量百分数即相对产量的高低来表达土壤养分的丰缺情况。相对产量低于 60%（不含）的土壤养分为低；相对产量 60%～75%（不含）为较低，75%～90%（不含）为中，90%～95%（不含）为较高，95%（含）以上为高，“低”对应本标准的“极缺”级，“较低”对应本标准的“缺乏”级，“中”对应本标准的“中等”级，“较高”对应本标准的“较丰”级，“高”对应本标准的“丰富”级，从而确定适用于某一区域、某种作物的土壤养分丰缺指标。

依据国内外公开发表文献以及团队近几年来的试验数

据构建了土壤养分与杂交狼尾草相对产量的关系方程（图1），同时确定了生产每吨杂交狼尾草干草的养分移出量，肥料的当季利用效率（表1）。

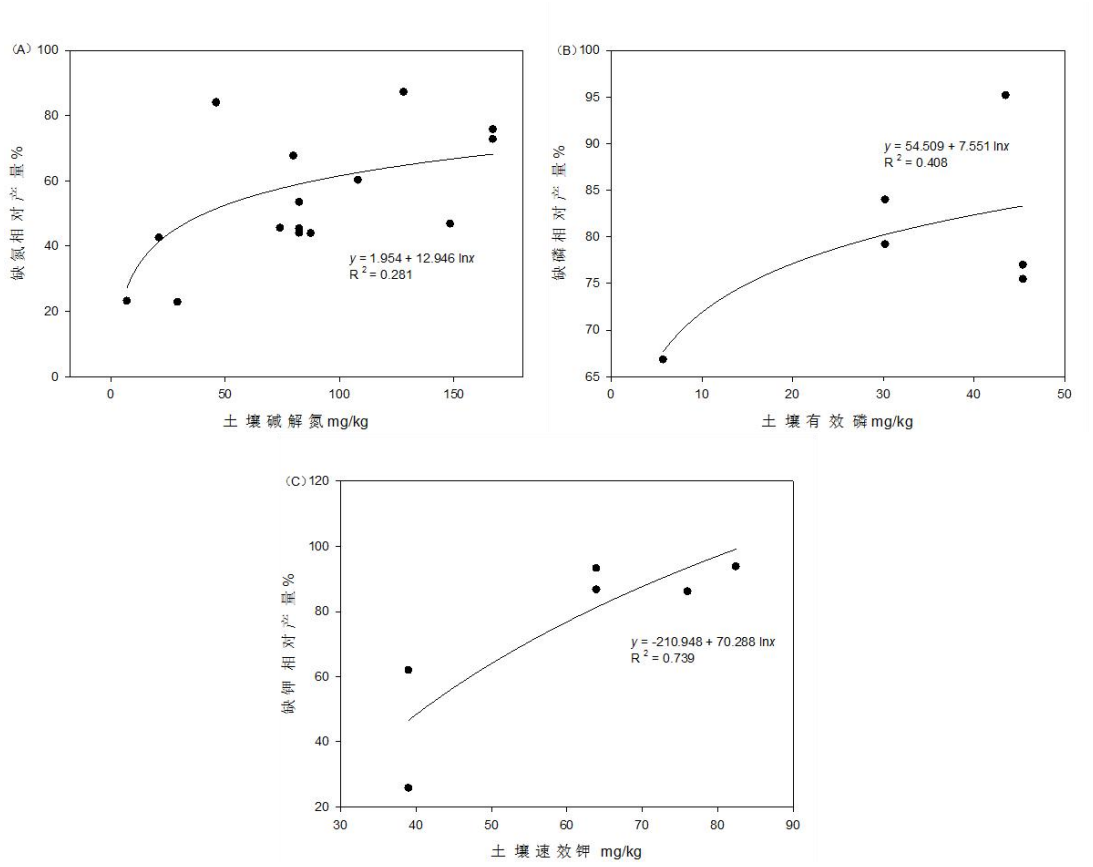


图1 杂交狼尾草土壤养分和相对产量的回归关系：（A）碱解氮；（B）有效磷；（C）速效钾

表1 杂交狼尾草推荐施肥量测算依据

养分种类	养分移出比例（kg/t）	肥料当季利用效率（%）	土壤养分（x）与相对产量（y）的关系方程
氮 N	11 N	45	y＝ 1.954 + 12.946 lnx
磷 P	4.5 P_2O_5	20	y = 54.509 + 7.551 lnx
钾 K	6 K_2O	50	y = 210.948 + 70.228 lnx

杂交狼尾草干草蛋白质含量约为7%，蛋白质中N含量为16%，即每克氮相当于6.25克蛋白质，因此，杂交狼尾

草单位经济产量移出氮（N）的量为 11 kg/t；杂交狼尾草干草中 P 的含量约为 2‰，P_2O_5 中 P 占 44%，因此，杂交狼尾草单位经济产量移出磷（P_2O_5）的量为 4.5 kg/t；杂交狼尾草干草中 K 的含量为 0.5%，K_2O 中 K 占 83%，因此，杂交狼尾草单位经济产量移出钾（K_2O）的量为 6 kg/t。

就我国而言，当施肥制度相对合理时，各种作物的氮肥当季利用效率大体上在 30%～50%，磷肥当季利用效率为 10%～20%，钾肥当季利用效率为 30%～50%。本标准将氮肥当季利用效率设置为 45%，磷肥当季利用效率设置为 20%，钾肥当季利用效率设置为 50%。

将相对产量分级参数分别带入土壤养分（碱解性氮、有效磷和速效钾）与杂交狼尾草相对产量的关系方程，求得各丰缺等级下（y=60%、75%、90%和 95%）对应的土壤养分的范围（图 1）。

土壤有机质：参照全国土壤第二次普查的分级标准制定以及农业行业标准 NY/T 2700-2015《草地测土施肥技术规程 紫花苜蓿》。

土壤 pH 值：当土壤 pH 诊断为过酸或者过碱时，土壤有效养分下降，杂交狼尾草生长受到抑制甚至死亡，因此需要进行土壤改良。根据 Passos 等人（Passos L P , Vidigal M C , Pereira A V ,et al.Responses of elephantgrass to nutrient solution pH levels[J].Journal of Plant Nutrition, 1999, 22(4-

5):701-708.DOI:10.1080/01904169909365665.）的研究结果象草在pH5.0条件下植株生长正常，pH小于4.0才显著抑制根系、生物量下降；杨智青等人（杨智青,丁海荣,钟小仙,等.17种杂交狼尾草滩涂盐碱地生产性状评价[J].家畜生态学报, 2013, 34(9):4.DOI:10.3969/j.issn.1673-1182.2013.09.012.）的研究结果江苏沿海滩涂盐碱土pH可达8.5～9.0，部分耐碱品系（C11、C12）可以定植存活，将其pH适宜设为5.0～9.0，小于5.0则为过酸，大于9.0则过碱。pH超过9.0施用脱硫石膏和磷石膏等改良剂，pH低于5.0时施用石灰改良剂。

2.3 推荐施肥量

有机肥的推荐施肥量参照农业行业标准NY/T 2700《草地测土施肥技术规程 紫花苜蓿》：有机质判断为“缺乏”时，推荐施有机肥10.5 t/hm^2～15 t/hm^2；有机质判断为“极缺”时，推荐施有机肥15 t/hm^2～22.5 t/hm^2。土壤有机质分级为“中等”、“较丰”和“丰富”时，不需要施入有机肥。有机肥施用以培肥地力和改良土壤为主要目的，由于有机肥中氮磷钾有效养分含量较低，且释放较慢，因此有机肥带入的养分不计入化肥推荐量。

氮磷钾的推荐施肥量参照农业部制订的《测土配方施肥技术规范》2011年修订版中的养分平衡法、地力差减法以及孙洪仁等（2014）“养分平衡-地力差减法”确定适宜施

肥量的新应用公式：适宜施用养分量=（1-缺素处理相对产量）×目标产量作物移出养分量÷养分当季利用率。

目标产量一般指推荐施肥计划期望达到的产量。目标产量不应高于当地自然环境和其他管理条件所允许的最高产量。将全肥处理产草量作为杂交狼尾草的干草目标产量，根据生产实践需要，本标准设置4个具体目标产量，分别为30、40、50、60 t/hm^2。

目标产量作物移出养分量＝单位经济产量作物移出养分量×目标产量。养分当季利用率一般通过差减法来计算：利用施肥区作物吸收的养分量减去不施肥区农作物吸收的养分量，其差值视为肥料供应的养分量，再除以所用肥料养分量就是肥料利用率。

氮：杂交狼尾草干草蛋白质含量约为7%，蛋白质中N含量为16%，即每克氮相当于6.25克蛋白质，因此，杂交狼尾草单位经济产量移出氮（N）的量为11 kg/t。当杂交狼尾草干草目标产量为30 t/hm² 时，土壤养分诊断分级为“极缺”，基于杂交狼尾草干草目标产量的氮肥推荐施肥量＝（1-60%）×30 t/hm²×11 kg/t ÷ 45% ≈ 290 kg/hm²；土壤养分诊断分级为“缺乏”，基于杂交狼尾草干草目标产量的氮肥推荐施肥量＝（1-67.5%）×30 t/hm²×11 kg/t ÷ 45% ≈ 240 kg/hm²；土壤养分诊断分级为“中等”，基于杂交狼尾草干草目标产量的氮肥推荐施肥量＝（1-82.5%）×30 t/hm²×11 kg/t

÷45% ≈ 130 kg/hm²；土壤养分诊断为“较丰”，基于杂交狼尾草干草目标产量的氮肥推荐施肥量 =（1-92.5%）×30 t/hm²×11 kg/t ÷45% ≈ 50 kg/hm²；土壤养分诊断为“丰富”，基于杂交狼尾草干草目标产量的氮肥推荐施肥量 =（1-95%）×30 t/hm²×11 kg/t ÷45% ≈ 40 kg/hm²。当杂交狼尾草干草目标产量为 40、50、60 t/hm²，基于杂交狼尾草干草目标产量的氮肥推荐施肥量计算公式同上。

磷：依据每吨杂交狼尾草干草移出磷素（P_2O_5）4.5 kg 以及磷肥当季有效性为 20%的原则。当杂交狼尾草干草目标产量为 30 t/hm² 时，土壤养分诊断分级为“极缺”，基于杂交狼尾草干草目标产量的磷肥推荐施肥量 =（1-60%）×30 t/hm²×4.5 kg/t ÷20% = 270 kg/hm²；土壤养分诊断分级为“缺乏”，基于杂交狼尾草干草目标产量的磷肥推荐施肥量 =（1-67.5%）×30 t/hm²×4.5 kg/t ÷20% ≈ 220 kg/hm²；土壤养分诊断分级为“中等”，基于杂交狼尾草干草目标产量的磷肥推荐施肥量 =（1-82.5%）×30 t/hm²×4.5 kg/t ÷20% ≈ 120 kg/hm²；土壤养分诊断为“较丰”时，基于杂交狼尾草干草目标产量的磷肥推荐施肥量 =（1-92.5%）×30 t/hm²×4.5 kg/t ÷20% ≈ 50 kg/hm²；土壤养分诊断为“丰富”，基于杂交狼尾草干草目标产量的磷肥推荐施肥量 =（1-95%）×30 t/hm²×4.5 kg/t ÷20% ≈ 30 kg/hm²。当杂交狼尾草干草目标产量为 40、50、60 t/hm²，基于杂交狼尾草干草目标产

量的磷肥推荐施肥量计算公式同上。

钾：依据每吨杂交狼尾草干草移出钾素（K_2O）6 kg 以及钾肥当季利用效率为 50%的原则，当杂交狼尾草干草目标产量为 30 t/hm² 时，土壤养分诊断分级为“极缺”，基于杂交狼尾草干草目标产量的钾肥推荐施肥量 =（1-60%）×30 t/hm²×6 kg/t ÷ 50% = 140 kg/hm²；土壤养分诊断分级为“缺乏”，基于杂交狼尾草干草目标产量的钾肥推荐施肥量 =（1-67.5%）×30 t/hm²×6 kg/t ÷ 50% ≈ 120 kg/hm²；土壤养分诊断分级为“中等”，基于杂交狼尾草干草目标产量的钾肥推荐施肥量 =（1-82.5%）×30 t/hm²×6 kg/t ÷ 50% ≈ 60 kg/hm²；土壤养分诊断为“较丰”，基于杂交狼尾草干草目标产量的钾肥推荐施肥量 =（1-92.5%）×30 t/hm²×6 kg/t ÷ 50% ≈ 30 kg/hm²；土壤养分诊断为“丰富”时，基于杂交狼尾草干草目标产量的钾肥推荐施肥量 =（1-95%）×30 t/hm²×6 kg/t ÷ 50% ≈ 15 kg/hm²。当杂交狼尾草干草目标产量为 40、50、60 t/hm²，基于杂交狼尾草干草目标产量的钾肥推荐施肥量计算公式同上。

施肥种类：对于杂交狼尾草，氮肥主要有尿素、碳酸氢铵、硫酸铵、氯化铵等；磷肥主要有过磷酸钙、重过磷酸钙、钙镁磷肥等；钾肥主要有氯化钾、硫酸钾等。磷酸一铵、磷酸二铵、硝酸钾、磷酸二氢钾等含两种及以上养分的肥料为复合肥料。施用复合肥料时，应按其所含有效

养分含量换算实际施用量，并将随之带入的其他养分从相应推荐施用量中扣减。

酸性土壤施用草木灰、钙镁磷肥和硅钙肥等碱性肥料调节酸度；碱性土壤不宜施用含钠、氯等成分的肥料以及碱性肥料，应增施充分腐熟的有机肥以改善土壤结构，有机肥施用量应在5.2推荐用量的基础上增加20%。

施肥时期和方法：杂交狼尾草的施肥时期分为种植前底肥和拔节期以及刈割后追肥。

底肥一种方法是整地前将全部有机肥或全部的磷、钾肥以及30%的氮肥撒施在地表，结合旋耕整地将底肥与土壤表层土混合。另一种方法是先整好地，在种植时将所需肥料条施在种植沟内，回填5 cm左右土再放置种茎并覆土。追肥以氮肥为主，在拔节期结合灌溉或是降雨洒施在地表。如果追施有机肥，在刈割后直接将肥料洒施在地表。

三、主要试验（或验证）的分析、综述报告，技术经济论证，预期的经济效果

2023年以调查问卷的形式调查了杂交狼尾草主要种植区域的水肥管理状况，收集有效调查表18份。基于以上调查报告于2023年和2024年开展杂交狼尾草“3414”试验。

3.1 试验设计

试验地位于河北省廊坊市广阳区中国农业科学院国际农业高新技术产业园（39°35′44″N，116°34′60″E）开展试验。

年均温 11.9℃，无霜期 183 d，平均日照数为 2659.6 h，年均降水量为 554.9 mm。土壤类型为沙壤土，初始土壤养分为有机质 3.7 g/kg，pH 值 7.79，碱解氮 31.15 mg/kg，有效磷 0.87 mg/kg，速效钾 85.1 mg/kg。试验期间气象条件及田间管理同当地常规生产。

采用“3414”肥料效应试验设计，以氮、磷、钾为试验因素，随机区组排列，小区面积 40 m^2（20 m×2 m），区间走道宽 60 cm。供试肥料为尿素（N 46%）、过磷酸钙（P_2O_5 12%）和氯化钾（K_2O 62%）。依据廊坊基地土壤本底数据以及调查表中的经验数据设定 $N_2P_2K_2$ 全肥处理施肥量为：N 375 kg/hm^2、P_2O_5 150 kg/hm^2、K_2O 90 kg/hm^2（表 2）。按肥料养分含量折算，尿素、过磷酸钙和氯化钾实物用量分别为 815.22、1250 和 145.16 kg/hm^2。各处理底肥条施或撒施在地表，结合整地与土壤表层土混合，底肥包括全部磷肥和钾肥，以及 30%的氮肥。拔节期和刈割后采用追肥的方式，根据土壤肥力适时追氮肥，撒施在地表，结合灌溉或降雨施用，以提高氮肥利用效率。

表 2 “3414”试验各处理施肥量

处理	N (kg/hm^2)	P_2O_5 (kg/hm^2)	K_2O (kg/hm^2)
$N_0P_0K_0$	0	0	0
$N_0P_2K_2$	0	150	90
$N_1P_2K_2$	187.5	150	90

$N_2P_0K_2$	375	0	90
$N_2P_1K_2$	372	75	90
$N_2P_2K_2$	**375**	**150**	**90**
$N_2P_3K_2$	375	225	90
$N_2P_2K_0$	375	150	0
$N_2P_2K_1$	375	150	45
$N_2P_2K_3$	375	150	135
$N_3P_2K_2$	562.5	150	90
$N_1P_1K_2$	187.5	75	90
$N_1P_2K_1$	187.5	150	45
$N_2P_1K_1$	375	75	45

杂交狼尾草抽穗期按小区实收计产，共收获两茬，折算为 t/hm^2。

3.2 氮磷钾的产量响应

基于各处理施肥量与干草产量实测数据，分别拟合氮、磷、钾肥料产量响应曲线（图 2），量化饲草干草产量随氮磷钾施用量变化的关系。

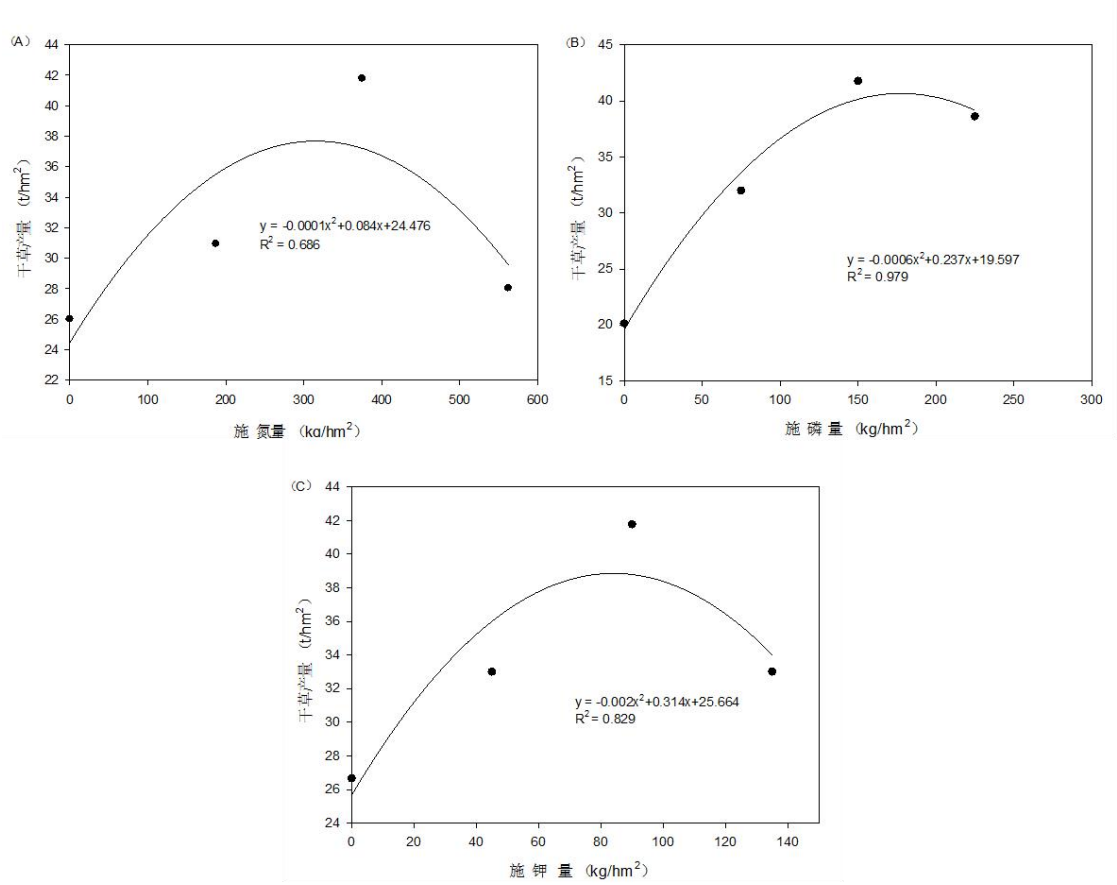


图 2 杂交狼尾草氮磷钾肥料响应曲线：（A）氮；（B）磷；（C）钾

氮、磷、钾各因素的总产量都以 2 水平最高。

氮：产量随施氮量增加，由 25.99 t/hm²（N_0）增至 41.79 t/hm²（N_2，375 kg/hm²），再增至 562.5 kg/hm²（N_3）时降至 28.03 t/hm²，比 N_2减产 32.9%。

磷：不施磷产量仅 20.15 t/hm²，P_2O_5 75 和 150 kg/hm² 分别增至 32.00 和 41.79 t/hm²，225 kg/hm²时降至 38.61 t/hm²，比 P_2减产 7.6%。

钾：不施钾产量为 26.65 t/hm²，K_2O 45 和 90 kg/hm²分别增至 33.02 和 41.79 t/hm²，135 kg/hm²时降至 33.02 t/hm²，比 K_2减产 21.0%。

表 3 杂交狼尾草标准推荐量与试验结果的对比

养分	标准推荐量（目标产量 40 t/hm²）	试验全肥量	曲线拟合适宜量	拟合最高产量 95%以上的施肥范围
N（kg/hm²）	390	375	315	196~434
P_2O_5（kg/hm²）	360	150	178	122~233
K_2O（kg/hm²）	80	90	84	52~116

氮：标准推荐量 390 kg/hm²落在 95%高产范围内，且 N_3处理已经减产，说明标准氮量既能保证高产，也没有超过产量下降的拐点，推荐量合理。

钾：标准推荐量 80 kg/hm²与拟合适宜量（84 kg/hm²）几乎一致，处在高产范围中部，推荐量合理。

磷：标准推荐量 360 kg/hm²（30 t/hm²档 270 kg/hm²）均远超 95%高产范围上限（233 kg/hm²）。试验中 P_2O_5 150 kg/hm²已取得 41.79 t/hm²的产量，225 kg/hm²反而减产。不过试验最高磷水平为 225 kg/hm²，没有覆盖 360 kg/hm²，所以不能说 360 一定无效，但趋势显示继续增施磷肥没有增产依据。因此，磷肥推荐量在本试验条件下可能偏高。

3.3 养分利用效率

养分效率相关指标参照何萍、徐新朋、周卫等著《基于产量反应和农学效率的作物推荐施肥方法》：

农学效率（agronomic efficiency, AE）即施用 1 kg 某种养分作物产量的增量，N、P、K 的农学效率分别用 AEN、AEP 和 AEK 表示。N 的农学效率=（NPK 全施小区-减氮小

区产量）/施氮量

偏生产力（partial factor productivity, PFP）定义为施用 1 kg 某种养分对应的作物产量，N、P、K 的偏生产力分别用 PFPN、PFPP 和 PFPK 表示。

产量反应（yield response, YR）即最佳处理小区产量与缺素处理小区的产量差，施 N、施 P 和施 K 产量反应分别用 YRN、YRP 和 YRK 表示。

2024 年试验结果表明，氮、磷、钾的产量反应都在 15 t/hm^2 以上（表 4），说明三种养分对杂交狼尾草都有明显增产作用。杂交狼尾草与玉米同属于 C_4 植物。玉米籽粒的氮磷钾农学效率、偏生产力和产量反应如表 5 所示。与玉米籽粒相比，各项指标均明显更高。

表 4 杂交狼尾草农学效率、偏生产力和产量反应

杂交狼尾草	N	P	K
农学效率（kg/kg）	42.13	144.27	168.22
偏生产力（kg/kg）	111.44	278.60	464.33
产量反应（t/hm^2）	15.80	21.64	15.14

表 5 玉米籽粒农学效率、偏生产力和产量反应

玉米籽粒	N	P	K
农学效率（kg/kg）	12.7	18.4	15.1
偏生产力（kg/kg）	52.7	126.7	124.6
产量反应（t/hm^2）	2.4	1.4	1.3

四、标准涉及的相关知识产权说明

本标准在制定过程中未涉及相关知识产权纠纷。

五、采用国际国内标准的程度与水平的简要说明，与现行有关法律法规和强制性标准的关系

本标准编制过程中，引用了 GB 12297、NY/T 889、NY/T 1121 等现行国家和农业标准，没有引用国际标准；该标准与现行法律法规无冲突，并保证了对该标准最新版本的引用。

六、重大意见分歧的处理经过和依据

本标准编写过程中不存在重大分歧。

七、实施建议

本标准作为团体标准，供科研单位、检测机构、基层农技推广部门、饲草种植合作社、社会化农化服务组织自愿采用。

八、其他应予说明的事项

无。