

【黄河三角洲研究】

播种量对不同盐碱地三种饲草产量和品质的影响

罗永开¹, 王陆鑫¹, 刘智全², 盖梓译¹, 贾述林¹, 徐龙超³, 李世超⁴, 林 双^{2,5}

(1. 山东航空学院 山东省黄河三角洲生态环境重点实验室, 山东 滨州 256603;

2. 中国科学院 植物研究所, 北京 100093;

3. 太原理工大学 环境科学与生态学院, 山西 太原 030000;

4. 滨州市国土空间生态修复中心, 山东 滨州 256603;

5. 中国科学院大学 生命科学学院, 北京 100049)

摘要:盐碱地的开发利用对于保障我国粮食安全具有重要意义,耐盐碱饲草的种植是盐碱地利用的重要手段之一。在饲草的大田管理措施中,合适的播种量能够有效地提升饲草产量和品质。以甜高粱科甜 2 号、科甜 10 号和高丹草 3460 为研究对象,选择东营轻度盐碱地和重度盐碱地为样点,每个饲草品种在每个样点分别设置 7.5 kg/hm²、15.0 kg/hm²、30.0 kg/hm²、45.0 kg/hm² 四个播种量,调查不同播种量对不同盐碱地饲草产量和品质的影响。结果表明:轻度盐碱地饲草产量达 22 t/hm²,显著高于重度盐碱地;播种量主效应对饲草产量没有显著影响,轻度盐碱地中间播种量(15.0 kg/hm² 或 30.0 kg/hm²)的科甜 2 号产量最高;饲草在低播种量(7.5 kg/hm²)时,粗蛋白含量显著高于其他播种量,播种量对饲草其他品质无显著影响;科甜 10 号和科甜 2 号产量高于高丹草,而高丹草的粗蛋白含量显著高于甜高粱。与播种量相比,品种是决定饲草生物量和营养品质更重要的因素。饲草产量和蛋白之间相反的结果可能与植物碳氮代谢之间相互制约关系有关。

关键词:播种量;甜高粱;高丹草;盐碱地;产量;品质;饲草;黄河三角洲

中图分类号: S 318 **文献标识码:** A **DOI:**10.13486/j.issn.2097-4973.2025.06.014

0 引言

随着我国居民生活水平提高,人们的饮食结构也在不断变化,肉、蛋、奶的需求比例持续增加。这一饮食需求的改变倒逼我国农业产业结构发生改变,饲料粮占总粮的比例正在逐渐上升^[1]。而在我国 18 亿亩耕地红线的大背景下,如何有效开发利用盐碱地等边际土地对于保障我国饲料粮安全至关重要。

相比传统粮食作物以收获籽粒为主,饲草以获得植株地上部分为目的,饲草的种植降低了物候的限制,并且因较强的水分利用效率和耐逆性而更适合用于盐碱地等边际土地的开发利用。甜高粱(*Sorghum bicolor* cv. Dochna)和高丹草(*S. bicolor* × *S. sudanense*)都属于禾本科高粱属的一年生饲草^[2-3]。甜高粱源自热带及亚热带地区的 C4 型一年生单子叶植物,其生物产量和茎秆含糖量高,口感优良,使其成为极具潜力的饲草和能源作物^[4-7]。甜高粱对各种气候和立地条件展现出极强的适应性,并能产生较高的生物

收稿日期:2025-06-16

基金项目:内蒙古自治区科技攻关计划项目(2022YFXM0004);新疆生产建设兵团 NYHXGG 项目(2023AA207)

第一作者简介:罗永开(1988—),男,山东东营人,讲师,博士,从事饲草生物学研究。E-mail:yongkailuo@126.com

量,能够有效利用干旱、盐渍化和贫瘠的边际土地。高丹草是由高粱与苏丹草杂交而成的,这种植物继承了高粱和苏丹草的优秀特性^[8-9],具有较强的抗旱性和耐贫瘠性^[10-11]。甜高粱和高丹草相较于传统饲草青贮玉米,在抗旱性、耐盐碱性和抗病性方面表现出显著的优势,更适合于盐碱地的开发利用。

大田管理是提升饲草产量和品质的重要措施,在众多管理措施中,播种量是重要的农艺措施之一^[12-13]。近年来,甜高粱和高丹草作为新兴优质饲草作物、粮食作物而备受关注,已有诸多专家学者对其播种量进行了研究。在黄土高原的雨养农业区,何振富等对高丹草播种量进行试验,其结果表明随着播种量的增加,粗蛋白、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维的含量逐渐降低,但高播种量条件下,糖分含量却呈现上升趋势^[14]。闫慧颖等以吉甜 5 号和九甜杂 3 号甜高粱品种为对象,研究发现播种量的提升能有效促进甜高粱的株高生长,并提升干草和鲜草的产量^[15]。同样地,李春喜等在青海高原的研究也指出,随着播种量的增加,甜高粱的株高增加,但鲜重、茎粗度和分蘖数则相应减少^[16]。前人研究多聚焦于传统的饲草种植区,盐碱地上的相关研究较少。

黄河三角洲地区拥有世界上最完整、最年轻的河口生态系统。黄河三角洲地区未利用土地有 800 万亩,其中未利用的盐碱荒地约 300 万亩^[17]。如何更好地开发利用盐碱地对于黄河三角洲地区农业经济的提升具有重要的意义。通过种植甜高粱和高丹草等耐盐饲草可有效降低土壤含盐量,改善盐碱地的土壤结构^[18-20]。黄河三角洲盐碱地特点之一即重度盐碱地较多,而以往研究多集中于轻度盐碱地,甜高粱和高丹草在重度盐碱地上表现如何,尤其是在重度盐碱地偏多的黄河三角洲地区,播种量效应是否和轻度盐碱地相同,目前有待研究。本试验在山东东营的轻度盐碱地和重度盐碱地设置样点,选用三种常见的饲草品种科甜 2 号、科甜 10 号以及高丹草 3460 为研究对象,设置 7.5 kg/hm²、15 kg/hm²、30 kg/hm²、45 kg/hm² 四个播种量。采用统一的试验方法分析不同盐碱地上播种量对饲草产量和品质的影响,并比较分析不同饲草品种在不同盐碱地上的表现。

1 材料与方 法

1.1 试验地概况

本试验于 2023 年在山东省东营市开展,东营市当年年均气温为 13.6 °C,全年降水量为 583.3 mm,生长季 7 月和 8 月降雨占全年降雨量的 75%,雨热同期,无霜期 211 天,当年 ≥ 0 °C 的积温为 4 713.5 °C,≥ 10 °C 的积温为 4 245 °C(图 1)。试验当年气象数据通过当地的气象平台获取。在东营市选取两个样点,分别是低盐碱土壤条件的山东省黄河三角洲农业高新技术产业示范区(N37°19', E118°38')和高盐碱土壤条件的中国科学院地理与资源研究所黄三角科研基地(N118°54', E37°40'),两样点的土壤含盐量分别为 0.21%(轻度盐碱地)和 0.83%(重度盐碱地),样点的其他土壤背景信息见表 1。

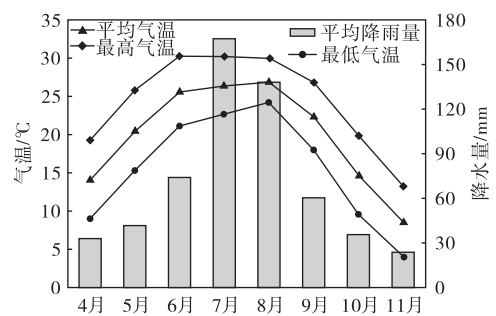


图 1 2023 年 4—11 月气温和降水量分布

表 1 两样点的土壤背景值

样点	pH 值	全氮/ (g · kg ⁻¹)	全磷/ (g · kg ⁻¹)	全钾/ (g · kg ⁻¹)	速效磷/ (mg · kg ⁻¹)	速效钾/ (mg · kg ⁻¹)	速效氮/ (mg · kg ⁻¹)	有机质/ (g · kg ⁻¹)	含盐量/ %
轻度盐碱地	8.98	1.15	0.84	16.33	12.11	291.07	72.12	18.76	0.21
重度盐碱地	9.63	0.58	0.77	10.23	37.40	315.47	15.26	11.20	0.83

1.2 试验材料

本试验选用的饲草品种为甜高粱科甜 2 号(Ketian No. 2)和科甜 10 号(Ketian No. 10)以及高丹草

3460(sorghum-sudangrass 3460),科甜2号和科甜10号由中国科学院植物研究所培育并提供(2022年9月收获);高丹草3460从北京克劳沃草业中心购买(2022年9月收获)。

1.3 试验方法

在轻度和重度盐碱地对于不同饲草品种采用统一的试验设置方法,试验为品种和播种量两因素试验,试验设置四个播种量分别为7.5 kg/hm²、15.0 kg/hm²、30.0 kg/hm²、45.0 kg/hm²。两个样点小区行距60 cm,行长6 m,种植10行,小区面积36 m²。以上实验三次重复,采用裂区实验设计,品种为主区,播种量为副区。采用人工条播的方式播种在两个样品小区分别进行品种的播种量两因素的试验,重度盐碱地播种时间为5月20—22日,轻度盐碱地播种时间为6月7—9日。种植后按照当地的管理方式进行大田管理。在播种之前,每个样点取0~20 cm表层土调查土壤背景值。

1.4 指标调查

1.4.1 生物量相关指标

轻度盐碱地和重度盐碱地调查时间分别为当年10月20—22日和10月22—24日。在每个小区内部随机选取三个2 m×2 m的样方,将样方内地上整株收获,进行鲜重的测定,留茬高度为5 cm。之后从三个调查完的样方中选取5株具有代表性的样株,测量每株的鲜重后放入烘箱24 h烘干至恒重,称量每株的干重。通过样株干鲜比换算干草产量。由于干草产量避免了含水量的影响,能更直接地反映不同样点不同处理饲草的生长表现,因此,正文中不同饲草的生物量表现主要分析干草产量。

1.4.2 营养成分的测定

将烘干后的整株样品研磨后采用近红外光谱法进行品质测定,测定指标包括粗蛋白(Crude protein, CP)、中性洗涤纤维(Neutral detergent fibre, NDF)、酸性洗涤纤维(Acid detergent fibre, ADF)、粗脂肪(Ethanol extract, EE)以及粗灰分(Crude ash, Ash)。

1.5 数据统计分析

采用Rstudio 1.1.456对数据进行处理和分析,使用Duncan法对各测定数据进行多重比较。采用Excel 2016进行数据的录入和整理,并对分析后的数据作图。

2 结果与分析

2.1 饲草产量结果

2.1.1 两样点饲草产量差异

本部分所使用的数据为每个样点上所有品种所有播种量的干重数据,对两样点的干草产量进行比较,结果发现轻度盐碱地的干草生物量达到22.0 t/hm²,显著地高于重度盐碱地(图2),图中不同字母表示差异显著($P<0.05$)。

2.1.2 品种、播种量对饲草产量的影响

方差分析表明:在轻度盐碱地样点,品种以及品种和播种量的交互作用对饲草干草产量影响显著,播种量对干草产量影响不显著;在重度盐碱地样点,无论是品种、播种量还是它们的交互作用,对饲草干草产量的影响均不显著,具体数据如表2所示。下面对生物量影响显著因素进行进一步分析描述。

首先比较两样点不同品种产量之间的差异。结果表明:在轻度盐碱地样点,三种饲草干草产量差异显著,科甜2号和科甜10号显著高于高丹草。科甜10号干草产量最高,达到了25.7 t/hm²;其次是科甜2号;高丹草产量最低,为19.9 t/hm²。在重度盐碱地样点,科甜10号产量略高于其他两个品种,但三个品种之间差异并

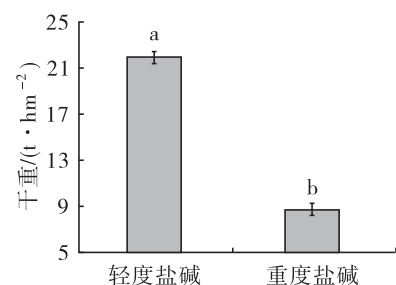


图2 不同盐碱土壤饲草干草产量

不显著(表 3)。

表 2 品种和播种量对饲草干草产量方差分析结果

样点	处理	自由度	总方差	均方	F	P	
轻度盐碱地	品种	2	1 900.20	950.11	14.87	<0.01	***
	播种量	3	71.70	23.88	0.37	0.77	
	品种:播种量	6	916.50	152.75	2.39	0.03	*
	残差	312	19 928.80	63.87			
重度盐碱地	品种	2	5.78	2.89	0.18	0.84	
	播种量	3	74.24	24.75	1.53	0.23	
	品种:播种量	6	90.61	15.10	0.93	0.49	
	残差	220	3 559.60	16.18			

注: * 表示不同处理在 $P < 0.05$ 水平上差异显著, *** 表示不同处理在 $P < 0.01$ 水平上差异显著。

表 3 两个样点不同饲草品种干草产量及多重比较结果

品种	轻度盐碱地/(t·hm ⁻²)	重度盐碱地/(t·hm ⁻²)
科甜 2 号	23.80±0.85a	8.87±1.51a
科甜 10 号	25.70±0.81a	9.76±1.38a
高丹草	19.90±0.66b	8.92±0.70a

注:同一列不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。

在轻度盐碱地样点,两甜高粱品种株高和茎粗显著大于高丹草,两种甜高粱的株高和茎粗之间差异不显著,科甜 10 号甜高粱平均株高和茎粗在三种饲草中最大,分别为 308.00 cm 和 13.50 mm。在重度盐碱地样点,不同饲草株高之间差异不显著,两种甜高粱茎粗显著大于高丹草,具体数据如表 4 所示。

表 4 不同盐碱地不同品种株高和茎粗的差异

样点	品种	株高/cm	茎粗/cm	样点	品种	株高/cm	茎粗/cm
轻度盐碱地	科甜 2 号	303.00±3.25a	12.00±0.13a	重度盐碱地	科甜 2 号	245.00±6.09a	13.50±0.62a
	科甜 10 号	308.00±3.42a	13.50±0.15a		科甜 10 号	246.00±7.31a	12.80±0.78a
	高丹草	234.00±2.79b	9.78±0.09b		高丹草	247.00±7.49a	9.39±0.68b

注:轻度和重度盐碱地同一指标不同字母表示在 $P < 0.05$ 水平上差异显著。

进一步对轻度盐碱地同一品种不同播种量对饲草干草产量的影响进行分析。结果表明,科甜 2 号与科甜 10 号的干草产量随着播种量的提升呈现先增加后降低的趋势。科甜 2 号不同播种量干草产量差异显著,播种量为 30.0 kg/hm² 时的干草产量显著高于播种量为 7.5 kg/hm² 和 45.0 kg/hm² 时的产量。高丹草的干草产量随着播种量的增加略有提升,但差异不显著(图 3)。

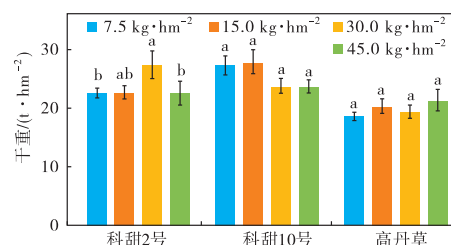


图 3 轻度盐碱地不同播种量下干草产量

2.2 饲草品质结果

2.2.1 两样点饲草品质差异

本部分所使用的数据为每个样点上所有品种所有播种量的营养品质数据,不同样点饲草的营养成分含量差异显著。轻度盐碱地上的饲草粗蛋白和粗灰分显著高于重度盐碱地,而中性洗涤纤维显著低于重

度盐碱地;两样点酸性洗涤纤维和粗脂肪之间无显著差异(表 5)。

表 5 不同盐碱地饲草营养品质多重比较结果

单位:%

样点	CP	ADF	NDF	EE	Ash
轻度盐碱地	9.20±0.12a	39.00±0.38a	61.10±0.59b	2.25±0.046a	0.49±0.01a
重度盐碱地	6.41±0.18b	38.30±0.29a	64.20±0.49a	2.27±0.031a	0.46±0.01b

注:同一列不同字母表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著。

2.2.2 品种、播种量对饲草品质的影响

分析品种和播种量对饲草品质的影响(表 6)。结果表明,在同一样点内,饲草品种对五种营养品质影响显著。在重度盐碱地样点中,播种量对粗蛋白影响显著,品种和播种量的交互作用对粗灰分影响显著。其他因素对饲草品质均无显著影响。

表 6 品种和播种量对饲草营养品质影响的方差分析结果

样点	处理	自由度	CP/%	ADF/%	NDF/%	EE/%	Ash/%
轻度盐碱地	品种	2	*	*	NS	*	NS
	播种量	3	NS	NS	NS	NS	NS
	品种:播种量	6	NS	NS	NS	NS	NS
重度盐碱地	品种	2	NS	*	*	*	*
	播种量	3	*	NS	NS	NS	NS
	品种:播种量	6	NS	NS	NS	NS	*

注:*表示不同处理间差异显著,NS表示无显著差异。

在轻度盐碱地样点中,高丹草的粗蛋白和粗脂肪含量显著高于甜高粱;高丹草的中性洗涤纤维含量显著高于科甜 10 号,而与科甜 2 号差异不显著;三个品种的酸性洗涤纤维和粗灰分差异不显著。在重度盐碱地样点中,高丹草的酸性洗涤纤维和粗脂肪含量显著高于甜高粱;高丹草的中性洗涤纤维和粗灰分含量显著高于科甜 10 号,而与科甜 2 号差异不显著;三个品种的粗蛋白含量差异不显著(表 7)。进一步分析重度盐碱地不同播种量对饲草粗蛋白含量的影响。播种量为 7.5 kg/hm^2 时的饲草粗蛋白含量显著高于其他播种量处理,而播种量由 15.0 kg/hm^2 升至 45.0 kg/hm^2 时,粗蛋白含量无显著变化(图 4)。

表 7 不同盐碱地品种对饲草品质的影响

单位:%

样点	品种	CP	ADF	NDF	EE	Ash
轻度盐碱地	科甜 2 号	8.86±0.17b	39.10±0.72a	61.10±1.09a	2.11±0.04b	0.48±0.01a
	科甜 10 号	9.09±0.13b	38.00±0.57a	59.70±0.87b	2.20±0.08b	0.50±0.01a
	高丹草	9.68±0.23a	39.80±0.55a	62.50±0.94a	2.46±0.07a	0.51±0.01a
重度盐碱地	科甜 2 号	6.24±0.10a	37.60±0.21b	63.90±0.38ab	2.13±0.03b	0.47±0.01a
	科甜 10 号	6.28±0.07a	37.00±0.37b	62.90±0.93b	2.22±0.03b	0.42±0.01b
	高丹草	6.39±0.12a	39.70±0.40a	65.70±0.87a	2.44±0.03a	0.46±0.01a

注:轻度和重度盐碱地同一指标不同字母表示在 $P<0.05$ 水平上差异显著。

3 讨论

3.1 盐碱对饲草产量和品质的影响

虽然处于相同的气候条件下,但东营重度盐碱地样点土壤含盐量较高,含盐量在 0.8% 以上,在高盐

胁迫的土壤环境中,植物细胞容易遭受生理干旱和过氧化损伤^[21-22],降低了植物的光合同化能力及生产力^[23-24]。不仅如此,重度盐碱地土壤板结,透水透气性以及土壤肥力较差,导致重度盐碱地饲草的干草生物量低于同一地区的轻度盐碱地。

在盐胁迫条件下,植物细胞内的酶活性会降低,导致蛋白的合成能力下降,因此,重度盐碱地样点的饲草蛋白含量显著低于轻度盐碱地。在多花黑麦草盐土和非盐土的对比种植试验中发现,多花黑麦草在盐土中的蛋白含量要低于非盐土,表明盐胁迫对植物蛋白的积累造成了一定的影响^[25]。

3.2 品种、播种量对饲草产量和品质的影响

不同饲草品种由于自身生长特性的差异,其产量和品质往往表现不同^[26-28]。在本研究中,科甜 10 号在三个品种中产量最高。在轻度盐碱地中,甜高粱产量显著高于高丹草;在重度盐碱地中,三个饲草品种的产量虽没有显著差异,但科甜 10 号在三个品种中产量仍是最高。出现这一结果的原因可以从三个品种株高和茎粗的表现找到答案,本试验所选用的甜高粱品种株高和茎粗都要优于高丹草(表 4),因此,在相同播种量下甜高粱的产量也要高于高丹草。因此,在盐碱地进行牧草种植时,选用合适的牧草品种是保证产量的关键因素之一。产量和品质往往是一对矛盾体,在轻度盐碱地中,甜高粱的产量虽高于高丹草,但重要的品质要素粗蛋白和粗灰分含量,高丹草显著高于甜高粱。这与作物体内的碳氮代谢存在相互制约关系有关,光合作用所固定的碳不仅可以用作植物的碳骨架,还会代谢产能用于氮素等其他物质在植物体内的代谢^[29]。甜高粱植株个体要比高丹草更为高大,因而需要消耗更多的碳元素来生成细胞中的碳骨架来维持茎秆的坚韧,这就使能用于合成粗蛋白和粗脂肪的碳能耗降低。文献^[25]对多花黑麦草的研究也同样表明在产量上升的同时植株体内的粗蛋白含量出现下降的趋势。在重度盐碱地上,过高浓度的盐离子引起的盐胁迫以及重度盐碱地不适宜作物生长的土壤质地导致相同的饲草品种产量和品质都要比轻度盐碱地差^[30]。甜高粱茎粗显著大于高丹草(表 4),因此,甜高粱茎秆坚韧的表皮组织所占的比例较低,导致重度盐碱地甜高粱中性和酸性洗涤纤维的比例较低。

除品种因素外,播种量是农业生产上一个重要的栽培措施^[31-32],不同于粮食作物,饲草由于生长速度快,分蘖能力极强,所以难以通过间苗定株的方式来设置其田间播种量。本研究中,除饲草的粗蛋白含量外,播种量主效应对两个样点饲草的产量和品质无显著影响。这说明对于以收获地上生物量为主的饲草而言,其地上生物量主要受地力的影响,在相同的土壤肥力条件下,植株地上生产力往往是相同的,这一研究结果也与文献^[33]对播种量的自疏效应的研究结果相同。品种和播种量的交互作用对轻度盐碱地产量有显著影响,表明对于特定的饲草品种来说,存在适宜的播种量。例如,对于科甜 2 号来说,中间播种量(15.0 kg/hm² 或 30.0 kg/hm²)的产量要显著高于 7.5 kg/hm² 和 45.0 kg/hm²。这一结果同样对农业生产具有重要的指导意义。植物在高盐条件下会提高体内的可溶性蛋白含量来降低盐胁迫对自身的损害^[34]。本研究在重度盐碱地条件下,播种量最小时(7.5 kg/hm²)饲草的粗蛋白含量最高,可能是由于高的饲草播种量带来的粗蛋白稀释效应导致。

4 结论

滨海盐碱地的开发利用对于保障我国粮食安全尤其是饲料粮安全具有重要意义。本研究在东营市黄三角地区的盐碱地上选择了两个典型样点,开展了品种和播种量两因素的栽培试验。研究表明,饲草在轻度盐碱地上表现更好,达到了较高的产量和品质。品种对饲草的产量和品质都有着重要的影响,科甜系列的两种甜高粱产量要高于高丹草,这与品种本身的性状有关。然而,本研究中饲草品质和产量是一对

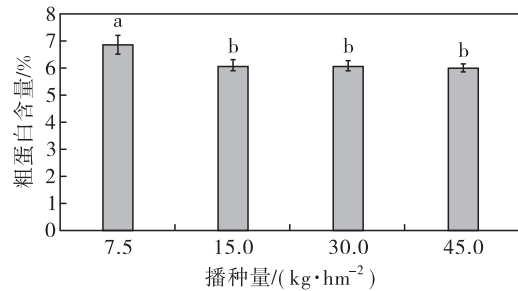


图 4 重度盐碱地播种量对粗蛋白含量的影响

矛盾体,饲草产量高时,粗蛋白和粗脂肪含量较低。播种量的主效应对产量无显著影响,但品种和播种量的交互对产量影响显著。

参考文献:

- [1] 方精云,景海春,张文浩. 迎接草牧业成为我国现代农业半壁江山的时代[J]. 科学通报,2018,63(17):1615-1618.
- [2] 许辉欣,高析,李卫明,等. 甜高粱干草饲喂小尾寒羊育肥效果试验研究[J]. 现代畜牧兽医,2022(5):25-29.
- [3] 崔凤娟,田福东,王振国,等. 饲用高粱品种品质性状的比较及评价[J]. 草地学报,2012,20(6):1112-1116.
- [4] 秦嘉海,吕彪,赵芸晨. 河西走廊盐土资源及耐盐牧草改土培肥效应的研究[J]. 土壤,2004(1):71-75.
- [5] 孙志强,罗樱宁,熊乙,等. 甜高粱作为优质饲草在中国草牧业发展中的潜力分析[J]. 中国草地学报,2021,43(3):104-112.
- [6] 王祁,陈昆,石红梅,等. 干旱胁迫对甜高粱光合特性、叶绿素荧光、SPAD及根系活力的影响[J]. 天津农业科学,2020,26(12):18-22.
- [7] 平俊爱,张福耀,杜志宏,等. “晋牧1号”高丹草的选育及其特征特性研究[J]. 草地学报,2015,23(6):1233-1238.
- [8] 李争艳,徐智明,师尚礼,等. 4个高丹草品种在江淮地区的生物学及营养学特性比较[J]. 草原与草坪,2019,39(5):88-95.
- [9] 姜超,李佳悦,潘文喧,等. 不同盐胁迫处理对高丹草幼苗生理特性的影响[J]. 饲料研究,2024,47(23):105-112.
- [10] 李聚才,施安,张俊丽,等. 宁夏六盘山区饲用高粱和高丹草品选及种植方式研究[J]. 中国草地学报,2020,42(6):125-133.
- [11] 石磊,徐朝阳,吕宁. 不同灌溉量对南疆风沙盐碱土高丹草生长及土壤盐分的影响[J]. 新疆农垦科技,2024,47(2):59-62.
- [12] 邓志兰,王振国,崔凤娟,等. 种植密度对甜高粱冠层结构光合特性和产量形成的影响[J]. 黑龙江农业科学,2019(3):4-10.
- [13] 肖旭. 青贮玉米和饲用甜高粱不同密度与施肥技术研究[D]. 长沙:湖南农业大学,2020.
- [14] 何振富,贺春贵,王国栋,等. 种植密度对光敏型高丹草营养成分及动态变化的影响[J]. 草业学报,2018,27(10):93-104.
- [15] 闫慧颖,李春喜,叶培麟,等. 种植密度和施肥水平对青海旱地覆膜种植甜高粱草产量及品质的影响[J]. 草业科学,2017,34(12):2512-2520.
- [16] 李春喜,冯海生,赵延贵,等. 甜高粱栽培技术研究[J]. 草地学报,2013,21(1):114-122.
- [17] 欧阳竹,王竑晟,来剑斌,等. 黄河三角洲农业高质量发展新模式[J]. 中国科学院院刊,2020,35(2):145-153.
- [18] 王立艳,潘洁,肖辉,等. 种植耐盐植物对滨海盐碱地土壤盐分的影响[J]. 华北农学报,2014,29(5):226-231.
- [19] 于嘉文,宋明丹,韩梅,等. 青海东部农业区不同作物的盐碱适应性及土壤改良效果评价[J]. 四川农业大学学报,2025,43(2):389-396.
- [20] 李晓瑾,郭丽琢,高玉红,等. 不同植物对河西盐渍土的改良效果[J]. 核农学报,2024,38(12):2442-2450.

- [21] 杨帆,魏晓岑,张士超,等.不同甜高粱品种萌发期抗盐和抗旱性比较[J].植物生理学报,2015,51(10):1604-1610.
- [22] 戴凌燕,张立军,阮燕晔,等.盐碱胁迫下不同品种甜高粱幼苗生理特性变化及耐性评价[J].干旱地区农业研究,2012,30(2):77-83.
- [23] 孙璐,周宇飞,李丰先,等.盐胁迫对高粱幼苗光合作用和荧光特性的影响[J].中国农业科学,2012,45(16):3265-3272.
- [24] 袁闯,陆安桥,朱林,等.孕穗期甜高粱耐盐性综合评价[J].干旱地区农业研究,2019,37(6):49-56.
- [25] 许能祥,董臣飞,丁成龙,等.盐土和非盐土施氮对多花黑麦草增产改质效果差异的比较[J].草业学报,2016,25(11):115-123.
- [26] 李中利,蒋丛泽,马仁诗,等.陇东旱塬区5个饲用甜高粱品种生产适宜性评价[J].草业学报,2024,33(8):50-62.
- [27] 李莎莎,杨翌,王晓龙,等.不同饲用高粱属作物在黑龙江西部地区适应性研究[J].中国饲料,2024(19):131-136.
- [28] 何增国,唐峻岭,杨珍,等.不同甜高粱和青贮玉米品种生产性能及饲用品质评价分析[J].中国饲料,2024(17):136-142.
- [29] 郭旭生,周禾,刘桂霞.苜蓿青贮过程中蛋白的分解及抑制方法[J].草业科学,2005,22(11):50-54.
- [30] 刘洪波,白云岗,卢震林,等.不同改良措施对重盐碱地夹层土壤的脱盐效果[J].华中农业大学学报,2025,44(2):177-189.
- [31] 李辉峰.玉米种植密度对产量及性状的影响探究[J].种子科技,2024,42(20):149-151.
- [32] 丁晓燕,位守燃,李宗宸,等.玉米与棉花间作对作物株高、叶绿素含量及根长密度的影响[J].中国棉花,2024,51(10):32-35.
- [33] 冯银平,沈海花,罗永开,等.种植密度对苜蓿生长及生物量的影响[J].植物生态学报,2020,44(3):248-256.
- [34] 李欣欣,黄萍,庄义庆,等.能源作物甜高粱抗逆性的研究进展[J].江苏农业学报,2016,32(6):1429-1433.

Effects of seeding rate on yield and quality of three forage crops in different saline-alkali lands

LUO Yongkai¹, WANG Luxin¹, LIU Zhiqian², GAI Ziyi¹, JIA Shulin¹, XU Longchao³,
LI Shichao⁴, LIN Shuang^{2,5}

(1. Shandong Key Laboratory of Eco-Environmental Science for the Yellow River Delta,
Shandong University of Aeronautics, Binzhou 256603, China;

2. Institute of Botany, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100093, China;

3. School of Environmental Science and Ecology, Taiyuan University of Technology,
Taiyuan 030000, China;

4. Binzhou Land Space Ecological Restoration Center, Binzhou 256603, China;

5. College of Life Sciences, University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

Abstract: The development and utilization of saline-alkali land is of great significance for ensuring

China's food security, and the planting of saline-alkali tolerant forage is one of the important means of utilizing saline-alkali lands. In field management measures for forage, appropriate sowing rates can effectively improve forage yield and quality. Using sweet sorghum varieties Ketian No. 2, Ketian No. 10, and sorghum-sudangrass 3460 as research objects, light saline alkali land and heavy saline-alkali lands in Dongying were selected as sampling points. Four seeding rates of 7.5 kg/hm², 15.0 kg/hm², 30.0 kg/hm², and 45.0 kg/hm² were set for each forage variety at each sampling point to investigate the effects of different sowing rates on forage yield and quality in different saline-alkali lands. The results showed that the forage yield in mild saline-alkali lands reached 22 t/hm², significantly higher than that in severe saline-alkali lands; the main effect of sowing amount on forage yield was not significantly affected, and the highest yield was achieved in the middle seeding rates (15.0 kg/hm² or 30.0 kg/hm²) of mild saline-alkali lands for Ketian No. 2; at low seeding rate (7.5 kg/hm²), the crude protein content of forage was significantly higher than other seeding rates, and seeding rates had no significant effect on other qualities of forage; the yield of Ketian No. 10 and Ketian No. 2 was higher than that of sorghum-sudangrass, and the crude protein content of sorghum-sudangrass is significantly higher than that of sweet sorghum. Compared to seeding rate, variety was a more important factor in determining the biomass and nutritional quality of forage. The opposite results between forage yield and protein may be related to the interdependent relationship between plant carbon and nitrogen metabolism.

Keywords: seeding rate; sweet sorghum; sorghum-sudangrass; saline-alkali lands; forage yield; forage nutritional quality; forage; the Yellow River Delta

(责任编辑:王新亮)

引用格式 罗永开,王陆鑫,刘智全,等.播种量对不同盐碱地三种饲草产量和品质的影响[J].山东航空学院学报,2025,42(6):107-115.

LUO Y K, WANG L X, LIU Z Q, et al. Effects of seeding rate on yield and quality of three forage crops in different saline-alkali lands[J]. Journal of Shandong University of Aeronautics, 2025, 42(6): 107-115.

本 刊 声 明

本刊已许可中国知网(中国学术期刊(光盘版)电子杂志社)、北京万方数据股份有限公司(万方数据电子出版社)、重庆维普资讯有限公司、超星期刊域出版平台等在其各自的系列数据库产品中以数字化方式复制、汇编、发行及在信息网络传播本刊全文。作者著作权使用费和稿酬(即包括印刷版、光盘版和网络版等各种使用方式的报酬)一并支付。如作者对本声明持有异议,请在投稿时说明。