

doi:10.11733/j.issn.1007-0435.2026.02.035

引用格式:薛一凡,赵方媛,杜文华.陇中沟壑区有机肥与化肥配施对不同小黑麦品种产量、品质及经济效益的影响[J].草地学报,2026,34(2):734-744

XUE Yi-fan, ZHAO Fang-yuan, DU Wen-hua. Effects of Combined Application of Organic Fertilizer and Chemical Fertilizer on Yield, Quality and Economic Benefits of Different Triticale Varieties in Gully Region of Central Gansu Province[J]. Acta Agrestia Sinica, 2026, 34(2):734-744

陇中沟壑区有机肥与化肥配施对不同小黑麦品种 产量、品质及经济效益的影响

薛一凡, 赵方媛, 杜文华*

(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中心, 甘肃 兰州 730070)

摘要:本试验旨在研究有机肥与化肥配施对不同小黑麦(*×Triticosecale*)品种生产性能、营养品质和经济效益的影响,为甘肃中部旱区小黑麦高产栽培技术提供指导。试验采用裂区设计,主区为施氮量,设120(A1),240(A2),360(A3),480 kg·hm⁻² N(A4)4个水平,采用2/3有机肥作为基肥、1/3尿素作为追肥的方式配施,不施肥(CK1)和单施化肥处理(CK2)作为对照;副区为2个小黑麦品种(C1:‘甘农2号’;C2:‘甘农4号’)。结果表明,从施肥处理看,配施量为360 kg·hm⁻² N时,2个小黑麦品种的平均干草产量(8.36 t·hm⁻²)、粗蛋白含量(10.73%)和综合评价值(0.95)较高;从小黑麦品种看,‘甘农2号’小黑麦的综合评价值(0.60)高于‘甘农4号’小黑麦(0.40);交互作用下,配施量为360 kg·hm⁻² N时,‘甘农2号’小黑麦的综合评价值最高(0.84),高于单施化肥下2个小黑麦的综合评价值(0.52,0.72)。综上,干旱条件下,兼顾饲草优质高产与经济效益,‘甘农2号’小黑麦宜选择240 kg·hm⁻² N配施量,‘甘农4号’小黑麦宜选择单施化肥360 kg·hm⁻² N。

关键词:有机肥;化肥;小黑麦;生产性能;营养品质;经济效益

中图分类号:S512.4

文献标识码:A

文章编号:1007-0435(2026)02-0734-11

Effects of Combined Application of Organic Fertilizer and Chemical Fertilizer on Yield, Quality and Economic Benefits of Different Triticale Varieties in Gully Region of Central Gansu Province

XUE Yi-fan, ZHAO Fang-yuan, DU Wen-hua*

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

Abstract: This experiment was conducted to study the effects of combined application of organic fertilizer and chemical fertilizer on the production performance, nutritional quality and economic benefits of different triticale (*×Triticosecale*) varieties, and to provide theoretical basis for high yield cultivation techniques of triticale in dry farming areas of central Gansu. The experiment used a split-plot design, and the main plot factor was nitrogen application rate, which was set at four levels: 120 (A1), 240 (A2), 360 (A3), and 480 kg·hm⁻² N (A4). For these nitrogen application treatments, nitrogen was applied as a combination of organic fertilizer and urea, with 2/3 of the nitrogen from organic fertilizer used as base fertilizer and 1/3 from urea as topdressing. Two control treatments were also included: no fertilization (CK1) and single application of chemical fertilizer (CK2). The

收稿日期:2025-04-15;修回日期:2025-06-10

基金项目:甘肃省高等学校产业支撑计划项目(2022CYZC-49);甘肃省重大专项(21ZD4NA012);国家自然科学基金项目(32260339);农业生物育种重大专项(2023ZD0402605-02)资助

作者简介:薛一凡(2000-),女,汉族,甘肃永登人,硕士研究生,主要从事草种质资源及育种栽培方向研究,E-mail:2521355448@qq.com;*通信作者 Author for correspondence, E-mail: duwh@gsau.edu.cn

subplot was two triticale varieties (C1: ‘Gannong No. 2’; C2: ‘Gannong No. 4’). The results showed that among the fertilization treatments, when the combined application rate of organic fertilizer and chemical fertilizer was $360 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \text{ N}$, the average hay yield ($8.36 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$), crude protein content (10.73%), and comprehensive evaluation value (0.95%) of the two triticale varieties were relatively higher. From the perspective of triticale varieties, the comprehensive evaluation value of ‘Gannong 2’ triticale (0.60) was higher than that of ‘Gannong 4’ triticale (0.40). Their interaction showed that when the combined application of organic fertilizer and chemical fertilizer was $360 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \text{ N}$, the comprehensive evaluation value of Gannong No. 2 was the highest (0.84), which was higher than that of the two triticale varieties under single application of chemical fertilizer (0.52, 0.72). In conclusion, under dry climate conditions, to balance high-quality and high-yield forage as well as economic benefits, the recommended nitrogen application strategy is as follows: for ‘Gannong 2’ triticale, a combined application of organic fertilizer and chemical fertilizer at a rate of $240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \text{ N}$ is suitable; for ‘Gannong 4’ triticale, a single application of chemical fertilizer at $360 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \text{ N}$ is appropriate.

Key words: Organic fertilizer; Chemical fertilizer; Triticale; Productive performance; Nutritional quality; Economic efficiency

小黑麦($\times$ *Triticosecale*)是由小麦属(*Triticum*)和黑麦属(*Secale*)植物经过杂交形成的新物种,具备产量高、营养价值高及抗逆性强等特点^[1]。饲用小黑麦草产量高、适口性好,可以鲜饲、青贮或收获干草^[2-3],是我国西北牧区广泛种植的主要饲草作物之一,也是反刍动物平稳越冬的主要粗饲料。陇中干旱半干旱地区由于水资源匮乏、土壤贫瘠,冬春季节饲草不足问题颇为严重,优化小黑麦种植模式可为当地草畜产业发展提供重要物质基础。

施肥可以提高饲草产量,关于施用氮肥对小黑麦饲草产量及品质的研究已有很多报道^[4-8],但长期过量施用氮肥,不仅会致使肥料利用率降低^[9],还导致经济效益下滑、土壤酸化^[10],不利于饲草增产。在2020年全国化肥用量零增长目标中明确了有机肥替代化肥是化肥减量的重要行动方案^[11],有机肥可为作物的生长发育提供丰富养分,也可改良土壤团聚体,增加土壤透气性,提升土壤地力^[12]。史志强等^[13]在甘南高寒牧区混播草地上研究发现,单施有机肥增产效果不如化肥,但其饲草营养品质更优质;杨小辉等^[14-15]在东北地区试验表明施用有机肥有利于提升小黑麦的产量和品质;张文洁等^[16]在华南地区研究发现,比起单施化肥,用有机肥替代1/4的化肥能够显著提高多花黑麦草的鲜草产量和干物质产量,同时头茬黑麦草的饲用品质最优;高菊生等^[17-18]研究发现,有机肥与无机肥配施后,小黑麦的生物产量和籽粒产量显著高于氮磷钾复合肥;李春喜等^[19]在华中地区试验表明,有机肥配施氮肥显著促进了小麦分蘖的形成,使有效群体数量得以增加,还促使叶绿素含量提高,光合速率水平上升为小麦实现高产奠定稳固基础;裴雪霞等^[20]在山西丘陵区雨养旱地的试验表明,化肥减量后配合施用有

机肥有利于提高小麦产量和蛋白质含量,而且可提高水分利用率。

综上所述,有机肥与化肥协同施用,在提升作物产量的同时可以显著优化作物品质,但目前尚未有陇中地区有机肥与化肥配施对小黑麦的研究,因此本试验拟通过研究有机肥与化肥配施对小黑麦生产性能和营养品质的影响,以期筛选出适宜的施肥量,为提高旱作农业区小黑麦饲草单位面积土地产量,并改善饲草品质提供实践指导。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

在甘肃省定西市农业科学研究院进行田间试验($104^{\circ}42' \text{ E}$, $35^{\circ}32' \text{ N}$),海拔1920 m,属于温带干旱半干旱气候,年日照时间为2400 h,年均温为 6.4°C ,年蒸发量1400 mm,无霜期140 d左右,其中小黑麦生长期间的降水量为119.1 mm,具体降雨量和平均气温如图1所示。试验地土壤为黄绵土,无灌溉条件。

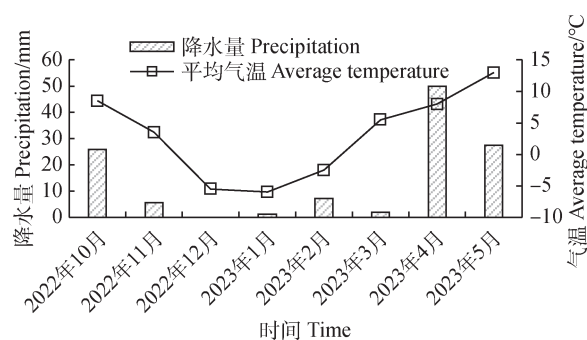


图1 试验地小黑麦生长期间的降水量和平均气温

Fig. 1 Precipitation and average temperature during the growth of triticale in the experimental site

1.2 供试材料

小黑麦材料为‘甘农2号’小黑麦和‘甘农4号’小黑麦,由甘肃农业大学草业学院提供。有机肥为商用有机肥,由甘肃正通有机肥有限公司生产,含氮量为2%,有机质含量 $\geq 45\%$ 。化肥为磷酸二铵(N, 18%; P_2O_5 , 46%; K_2O , 0%)和尿素(N, 46%),分别由云南美磷嘉吉化肥有限公司和甘肃刘化(集团)有限责任公司生产。

1.3 试验设计

采用裂区试验,主区为施氮量,设 $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\text{ N}$

(A1), $240\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\text{ N}$ (A2), $360\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\text{ N}$ (A3), $480\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\text{ N}$ (A4)4个水平,采用2/3有机肥作为基肥、1/3尿素作为追肥的方式,以不施肥处理为CK1、单施化肥处理($360\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\text{ N}$,其中磷酸二铵 $240\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\text{ N}$ 作为基肥,尿素 $120\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}\text{ N}$ 作为追肥)为CK2,其中单施化肥处理总氮量为团队前期试验结果所得^[21],追肥于小黑麦拔节期施入,具体施肥方案如表1所示。副区为2个小黑麦品种,C1:‘甘农2号’小黑麦,C2:‘甘农4号’小黑麦。

表1 试验施肥方案

Table 1 Experimental fertilizing plan

处理 Treatment	总氮素含量 Total nitrogen content/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}\text{ N}$)	基肥 Base fertilizer					追肥 Top dressing		总养分含量 Total content/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)
		有机肥 Organic fertilizer/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	磷酸二铵 Diammonium phosphate/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	N	P_2O_5	K_2O	尿素 Urea/ ($\text{kg}\cdot\text{hm}^{-2}$)	N	
CK1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
A1	120	4000	0	80	40	40	87	40	200
A2	240	8000	0	160	80	80	174	80	400
A3	360	12 000	0	240	120	120	261	120	600
A4	480	16 000	0	320	160	160	348	160	800
CK2	360	0	1333	240	613	0	261	120	973

注:CK1为不施肥处理;A1~A4为有机肥与化肥配施处理,有机肥为商用有机肥(N, 2%; P_2O_5 , 1%; K_2O , 1%);CK2为单施化肥处理,磷酸二铵(N, 18%; P_2O_5 , 46%; K_2O , 0%)和尿素(N, 46%)

Note: CK1 was no fertilization treatment; A1—A4 were treated with organic fertilizer and chemical fertilizer, and organic fertilizer was commercial organic fertilizer (N, 2%; P_2O_5 , 1%; K_2O , 1%); CK2 was a single chemical fertilizer treatment, diammonium phosphate (N, 18%; P_2O_5 , 46%; K_2O , 0%) and urea (N, 46%)

播种前精细整地,小区面积 30 m^2 ($10\text{ m}\times 3\text{ m}$),3次重复。小黑麦于2022年9月28日种植,播种密度均为每公顷600万株基本苗,行距为20 cm,于2023年6月16日(盛花期)刈割。试验地周围1 m种植保护行,试验期间人工防除杂草,无灌溉条件。

1.4 测定项目及方法

株高:在盛花期从每个小区中随机选取10株,测量其自然高度,以10株的平均值作为该小区的株高。枝条数:每个小区内随机选取1 m样段(边行和地头两边50 cm部分除外),数株高大于20 cm的有效枝条数。干草产量:盛花期刈割每个小区内所有植株的地上部分(边行和地头两边50 cm部分除外),称重得到鲜草产量;在每个小区分别取样500 g,用烘箱 105°C 杀青后 70°C 烘干至恒重,称重得到干草重,计算鲜干比,根据鲜干比计算每个小区的干草产量^[22]。

营养品质:将烘干后的草样粉碎过筛(孔径大小为1 mm),从混合均匀的草样中随机取3份样品,

平行测定各项指标。粗蛋白(Crude protein, CP)含量用凯氏定氮法测定^[23];中性洗涤纤维(Neutral detergent fiber, NDF)和酸性洗涤纤维(Acid detergent fiber, ADF)采用范氏的洗涤纤维分析法^[23],计算相对饲喂价值(Relative feed value, RFV),计算公式如下^[24]:

$$\text{干物质采食量 DMI} = 120/\text{NDF}$$

$$\text{干物质消化率 DMD}(\%) = 88.9 - 0.779 \times \text{ADF}(\%)$$

$$\text{相对饲喂价值 RFV} = (\text{DMD} \times \text{DMI})/1.29$$

1.5 综合评价

干草产量是草地生产性能的重要体现,CP含量是决定饲草品质的重要因素,中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维直接影响动物的采食率,RFV是决定牧草适口性及消化率的重要指标。采用隶属函数法对6个施肥水平和2个小黑麦品种的生产性能及营养品质进行综合评价。隶属函数值 $[X(\mu_1), X(\mu_2)]$ 计算公式如下^[25]:

$$X(\mu 1)=(X-X_{\min})/(X_{\max}-X_{\min}) \quad (1)$$

$$X(\mu 2)=1-X(\mu 1) \quad (2)$$

式中: X 为某一施肥量(或小黑麦品种)下某一指标的测定值; $X_{\max}$ 为所有施肥量(或小黑麦品种)下某一指标的最大值; $X_{\min}$ 为所有施肥量(或小黑麦品种)下某一指标的最小值。若所测指标与其饲草产量和品质呈正相关,则采用公式(1);反之,呈负相关,则用公式(2)计算隶属函数值。

$$r_{ij}=\sum_{k=1}^3 \xi_{ijk} \times W_k$$
$$(i=1,2,3,4,5,6;j=1,2;k=1,2,3) \quad (3)$$

式中: i 代表施肥量,1~6分别代表CK1、A1~A4、CK2; j 代表小黑麦品种,1~2分别代表C1~C2; k 代表测定指标,1~3分别代表干草产量、CP含量和RFV; r_{ij} 代表在第*i*个施肥量下第*j*个小黑麦品种下的综合评价; ξ_{ijk} 代表第*i*个施肥量下第*j*个小黑麦品种下测定指标对应的隶属函数值; W_k 代表各指标的权重。利用公式(3)计算各处理的综合评价。

1.6 经济效益计算

经济效益主要包括投入与产出,本试验中所涉及农业生产投入包括种子费用、购买有机肥料和化肥肥料以及人工费用(田间管理,农机费),投入均

按实际花费和当地市场价格计算(表2)。农业产出以小黑麦干草产量为主要测定指标,在收获季节进行小区测产,参考王腾飞等^[26]文中燕麦价格。

表2 投入与产出类别及价格

Table 2 Cost and output categories and forage prices	
项目 Item	单价 Unit price
小黑麦种子 Triticale seeds/(CNY·kg ⁻¹)	10
有机肥 Organic fertilizer/(CNY·kg ⁻¹)	1
磷酸二铵 Diammonium phosphate/(CNY·kg ⁻¹)	5
尿素 Urea/(CNY·kg ⁻¹)	3
人工费 Labour cost/(CNY·hm ⁻²)	3000
小黑麦干草 Triticale hay/(CNY·t ⁻¹)	2100

1.7 数据统计

采用Microsoft Excel 2016进行数据整理,SPSS 22.0软件对所测指标进行方差分析,并用Origin 2021软件进行作图,对有差异的数据使用Duncan多重比较,表中数据结果用“平均值±标准误”表示。

2 结果与分析

方差分析表明,除小黑麦品种间株高、枝条数、干草产量、经济效益、净收入、CP、NDF和RFV无显著差异外,其余处理下各指标均存在显著或极显著差异(表3)。需对上述存在显著差异的指标进行多重比较。

表3 施肥量、小黑麦品种及其交互作用间对生产性能、营养品质及效益的方差分析

Table 3 Variance analysis of fertilizer application rate, triticale varieties and their interaction on production performance, nutritional quality and benefit

变异来源 Variation source	F 值 F value								
	株高 Plant height	枝条数 Number of branches	干草产量 Hay yield	经济效益 Economic efficiency	净收入 Net income	粗蛋白 CP	中性 洗涤纤维 NDF	酸性 洗涤纤维 ADF	相对饲喂 价值 RFV
施肥量间 Fertilizing rates	3.94**	8.26**	21.31**	26.75**	15.51**	6.261**	2.95**	2.91*	3.43*
小黑麦品种间 Triticale varieties	7.84	0.08	8.95	6.70	1.10	0.07	0.78	1.47*	2.51
施肥量×小黑麦品种间 Fertilizing rates×Triticale varieties	3.52**	4.34**	35.36**	28.12**	17.30**	37.08**	18.03**	7.27**	20.96**

注:*表示0.05水平显著;**表示0.01水平显著

Note:* indicating significant differences at the 0.05 level; ** indicating significant differences at the 0.01 level

2.1 施肥量间小黑麦生产性能、营养品质及经济效益的差异

生产性能:由图2a~2c可知,A2、A3和A4处理下2个小黑麦品种的平均株高、茎粗显著高于CK1($P<0.05$);4个有机肥与化肥配施处理下的平均株高与CK2相比无显著差异,且A1、A2、A3的平均茎粗与CK2也无显著差异,但A4的平均茎粗显著高于CK2;对于干草产量而言,所有施肥处理的平均

干草产量均显著高于CK1(2.84 t·hm⁻²),其中A2的平均干草产量最高(8.83 t·hm⁻²),显著高于CK2(8.14 t·hm⁻²);A2、A3和A4处理的干草产量与CK2无显著差异。

经济效益(图2-d):配施或单施化肥处理均显著提高了2个小黑麦的平均经济效益,其中A2处理的平均经济效益最高(18 547 CNY·hm⁻²),与A3、A4和CK2处理无显著差异,显著高于A1(11 396

CNY·hm⁻²)和CK1(5964 CNY·hm⁻²)处理。

净收入(图2e):A2处理的平均净收入最高(4534 CNY·hm⁻²),与CK2无显著差异(4161 CNY·hm⁻²),

均显著高于CK1处理(474 CNY·hm⁻²)。A3和A4处理呈现出亏损状况,说明施肥量过多时,成本随之增加而经济效益不变的情况下,则会导致净收入减少。

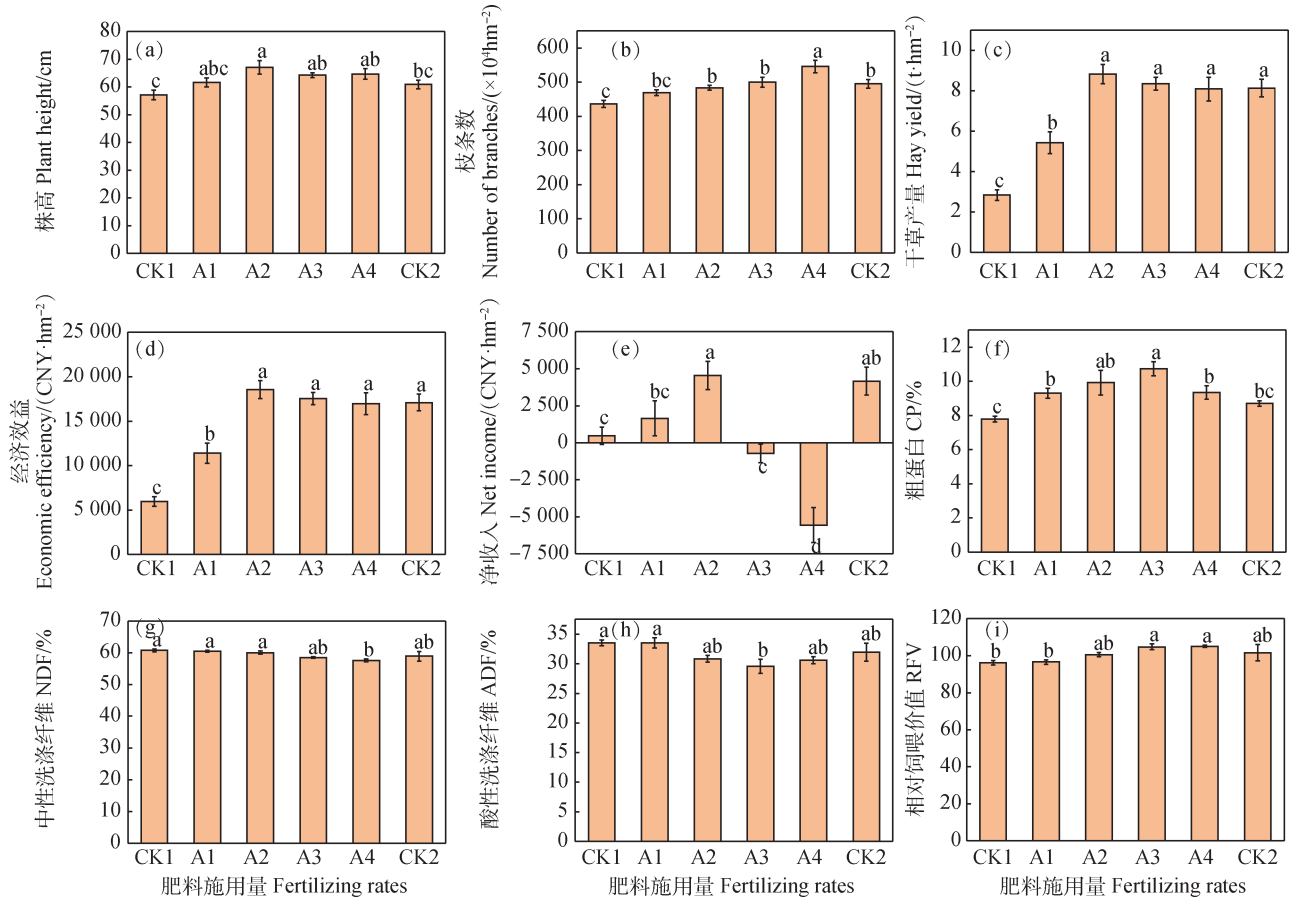


图2 施肥量间小黑麦生产性能、营养品质和经济效益的差异

Fig. 2 Differences in production performance, nutritional quality and economic benefits of triticale among fertilization amounts

注:A1~A4分别表示有机肥与化肥配施量(120 kg·hm⁻² N, 240 kg·hm⁻² N, 360 kg·hm⁻² N, 480 kg·hm⁻² N), CK1表示不施肥处理, CK2表示单施化学肥料处理(360 kg·hm⁻² N)。不同小写字母表示同一指标不同处理间差异显著($P < 0.05$)。下同

Note: A1 ~ A4 represented the combined application of organic fertilizer and chemical fertilizer (120 kg·hm⁻² N, 240 kg·hm⁻² N, 360 kg·hm⁻² N, 480 kg·hm⁻² N), CK1 represented no fertilization treatment, CK2 represented single chemical fertilizer treatment (360 kg·hm⁻² N). Different lowercase letters indicate significant differences among different treatments in the same index at the 0.05 level. The same as below

营养品质:从CP含量来看,4个有机肥与化肥配施处理(A1~A4)的平均CP含量(9.30%, 9.92%, 10.73%, 9.34%)显著高于CK1(7.79%); A3处理的平均CP含量显著高于CK2(8.70%), A1、A2和A4处理的平均CP含量与CK2无显著差异。A4处理的平均NDF含量(57.61%)显著低于CK1(60.74%), A3处理的平均ADF含量(29.57%)显著低于CK1(33.52%),配施处理的平均NDF和ADF含量均与CK2无显著差异。A3和A4处理的平均RFV(104.77, 105.08)显著高于CK1(96.21),且A2、A3和A4配施处理的平均RFV与CK2无显著差异(图2f、2g、2h、2i)。

2.2 小黑麦品种间生产性能和营养品质的差异

由表4可知,2个小黑麦品种在不同肥料施用量下,除C2(‘甘农4号’小黑麦)的平均ADF显著低于C1(‘甘农2号’小黑麦)外($P < 0.05$),其余指标间均无显著差异。

2.3 施肥量与小黑麦品种交互作用间生产性能、营养品质和经济效益的差异

生产性能:由图3a~3c可知,同一施肥量中,2个小黑麦品种的枝条数均无显著差异;A2配施处理下C1(‘甘农2号’小黑麦)的株高显著高于C2(‘甘农4号’小黑麦)品种($P < 0.05$);A2、A3和A4

表4 小黑麦品种间生产性能和营养品质的差异

Table 4 Differences in production performance and nutritional quality among triticale varieties

品种 Variety	株高 Plant height/cm	枝条数 Number of branches/($\times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)	干草产量 Hay yield/($\text{t} \cdot \text{hm}^{-2}$)	粗蛋白 CP/%	中性洗涤纤维 NDF/%	酸性洗涤纤维 ADF/%	相对饲喂价值 RFV
C1	63.95 $\pm$ 1.48 ^a	494.17 $\pm$ 10.90 ^a	7.15 $\pm$ 0.69 ^a	9.20 $\pm$ 0.31 ^a	59.92 $\pm$ 0.43 ^a	32.71 $\pm$ 0.49 ^a	99.26 $\pm$ 1.18 ^a
C2	61.23 $\pm$ 0.79 ^a	482.50 $\pm$ 9.94 ^a	6.74 $\pm$ 0.42 ^a	9.39 $\pm$ 0.31 ^a	59.24 $\pm$ 0.52 ^a	30.61 $\pm$ 0.65 ^b	102.35 $\pm$ 1.52 ^a

注: C1代表‘甘农2号’小黑麦, C2代表‘甘农4号’小黑麦; 同列不同字母表示差异显著($P < 0.05$)

Note: C1 represents Gannong No. 2 triticale, and C2 represents Gannong No. 4 triticale; Different letters indicate significant difference at the 0.05 level

处理下, C1品种的干草产量显著高于C2, CK2(单施化肥)处理下C1和C2的干草产量无显著差异。对同一品种而言, C1在A4处理下的枝条数($570.00 \times 10^4 \cdot \text{hm}^{-2}$)显著高于其他处理($P < 0.05$), 在A2处理下的株高(72.00 cm)显著高于CK1、A1、A3和CK2($P < 0.05$), 在A2处理下的干草产量($9.77 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)显著高于CK1、A1和CK2($P < 0.05$), 与A3和A4无显著差异; C2品种的株高在不同处理间无显著变化, 但枝条数在A4处理下(521.67×10^4 个 hm^{-2})显著高于CK1(423.33×10^4 个 hm^{-2}), 与其他处理无显著差异, 在CK2处理下的干草产量($8.37 \text{ t} \cdot \text{hm}^{-2}$)与A2和A3处理无显著处理, 显著高于CK1、A1和A4处理。

经济效益和净收入(图3d和3e): 同一施肥量下, 2个小黑麦品种在CK1、A3和CK2处理的经济效益无显著差异, 而C1品种在A2和A4配施处理的经济效益显著高于C2。配施或单施化肥处理均显著增加了C1和C2品种的经济效益, 其中, C1品种在A2处理($20\,524 \text{ CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$)的经济效益显著高于A1、CK1和CK2, C2品种在CK2处理($17570 \text{ CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$)的经济效益显著高于CK1、A1和A4。此外, C1品种在A2、A3和CK2处理下的净收入为盈利状态, 且在A2处理的净收入最高($6380 \text{ CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$); C2品种则在CK1、A1、A2和CK2处理为盈利状态, 其中在CK2处理的净收入最高($4761 \text{ CNY} \cdot \text{hm}^{-2}$), C1和C2品种均在A4配施处理下为亏损状态。

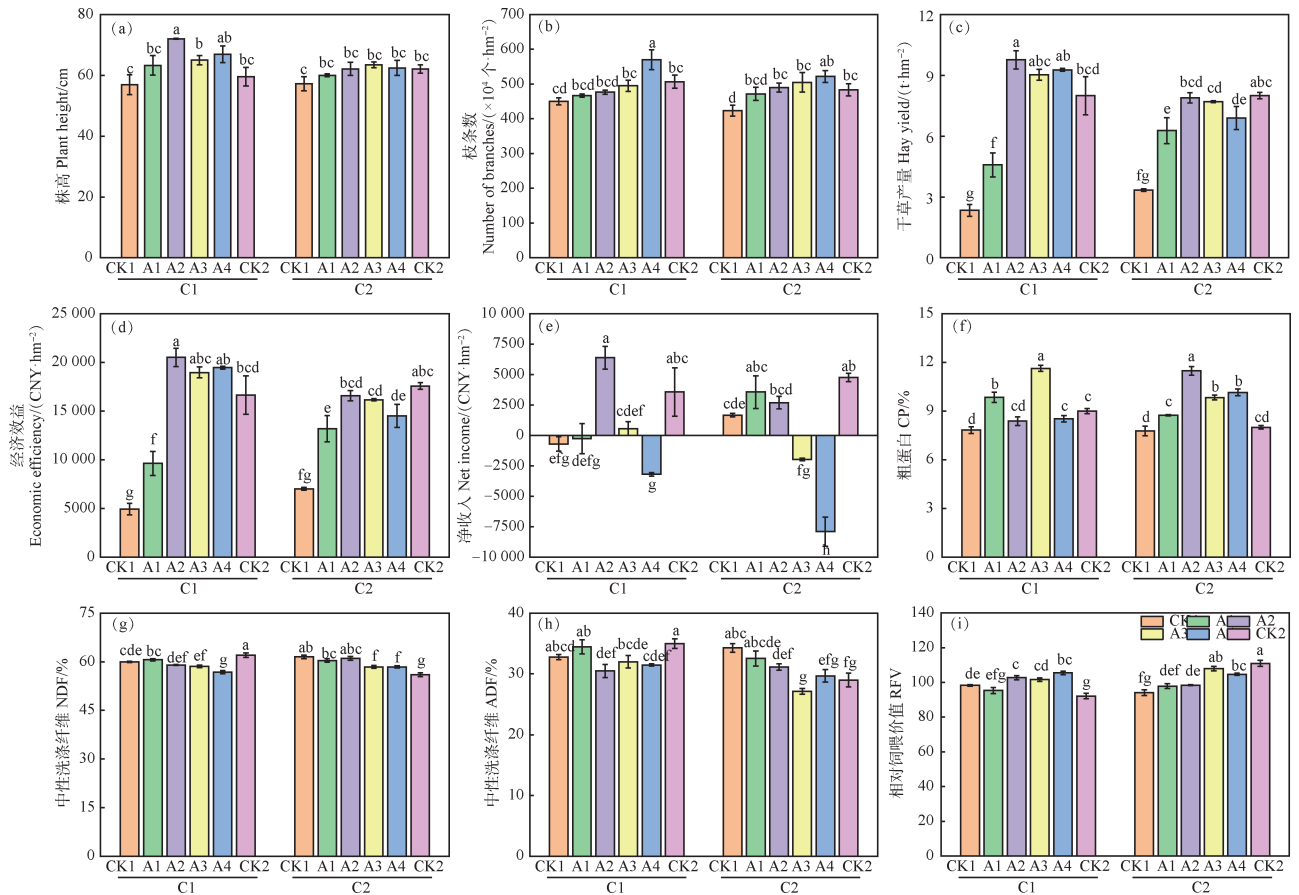


图3 施肥量与小黑麦品种交互作用间生产性能、营养品质 and 经济效益的差异

Fig. 3 Differences in production performance, nutritional quality and economic benefits between the interaction of fertilizer application rates and triticale varieties

营养品质:图 3f~图 3i可知,同一施肥量下,2个小黑麦品种在CK1、A3、CK2处理的CP含量无显著差异,而C1品种在A2和A4配施处理的CP含量显著低于C2;C1品种在CK1、A2、A4处理下的NDF含量显著低于C2;C2品种在A3和CK2处理下的ADF含量显著低于C1。对同一品种而言,C1品种在A3处理下的CP含量(11.63%)显著高于其他全部处理($P<0.05$),在A4处理下的NDF含量(56.79%)显著低于其他处理($P<0.05$),在A2处理下的ADF含量(30.50%)显著低于CK1、A1和CK2,在A4处理下的RFV(105.46)显著高于CK1、A1和CK2;C2品种在A2处理下的CP含量(11.48%)显著高于其他处理($P<0.05$),在CK2处理下的NDF含量(55.65%)显著低于其他处理($P<0.05$),在A3处理下的ADF含量(27.15%)显著低于CK1及A1和A2,在CK2处理下的RFV(111.05)显著高于CK1、A1、A2和A4处理。

2.4 综合评价

本试验中A2配施处理可得到较高的干草产量,但营养品质并非最佳,因此需要对2个小黑麦的生产性能和营养品质间的差异进行综合评价,根据生产期望和指标的重要性,我们对小黑麦的干草产量、CP和RFV权重值依次赋值为0.60,0.20和0.20^[13]。由表5施肥处理间的结果可知:6个施肥量中A3的综合评价值最高(0.95),A2次之(0.84);2个小黑麦品种间,C1的综合评价值更高(0.60)。施肥量和小黑麦品种交互作用间表明,C1和C2品种均在CK1(不施肥)处理的综合评价值最低,对于同一小黑麦品种,C1品种在A3处理下表现最好,其次为A2、A4;C2品种在CK2处理下表现最好,其次为A2、A3。其中,A3处理下C1的综合评价值最高(0.84),表现最优。

表 5 单因素间、施肥量和小黑麦品种交互作用的综合评价

Table 5 The comprehensive evaluation value of their interaction between single factor and fertilization rates×triticale variety

处理 Treatment	评价值 Evaluation value	排名 Rank	处理 Treatment	评价值 Evaluation value	排名 Rank	处理 Treatment	评价值 Evaluation value	排名 Rank		
CK1	0	6	CK1	C1	0.07	12	A4	C1	0.74	3
A1	0.37	5		C2	0.10	11		C2	0.62	7
A2	0.84	2	A1	C1	0.32	10	CK2	C1	0.52	8
A3	0.95	1		C2	0.43	9		C2	0.72	4
A4	0.83	3	A2	C1	0.74	2				
CK2	0.71	4		C2	0.71	5				
C1	0.60	1	A3	C1	0.84	1				
C2	0.40	2		C2	0.71	6				

2.5 经济效益

从表6小黑麦草地的经济效益可以看出,2个小黑麦品种对不同肥料的利用率明显不同,C1品种在A2

配施处理时净收入最高(6380 CNY·hm⁻²),高于单施化肥处理(3560 CNY·hm⁻²),且C1品种在不施肥、少施或者过量施肥时的效益为负值;C2品种在CK2(单

表 6 小黑麦草地的成本与收益

Table 6 Costs and benefits of triticale grassland

处理 Treatment		干草产量 Hay yield/ (t·hm ⁻²)	投入 Cost/(CNY·hm ⁻²)				经济效益 Economic efficiency/(CNY·hm ⁻²)		净收入 Net income/ (CNY·hm ⁻²)
			种子 Seed	肥料 Fertilizer	人工 Labor	合计 Total	价格 Unit price/(CNY·t ⁻¹)	合计 Total/(CNY·hm ⁻²)	
CK1	C1	2.34	2622	0	3000	5622	2100	4921	-701
	C2	3.34	2359	0	3000	5359	2100	7007	1648
A1	C1	4.58	2622	4261	3000	9883	2100	9618	-265
	C2	6.27	2359	4261	3000	9620	2100	13 174	3554
A2	C1	9.77	2622	8522	3000	14 144	2100	20 524	6380
	C2	7.89	2359	8522	3000	13 881	2100	16 569	2688
A3	C1	9.02	2622	12 783	3000	18 405	2100	18 956	551
	C2	7.70	2359	12 783	3000	18 142	2100	16 163	-1979
A4	C1	9.27	2622	17 044	3000	22 666	2100	19 460	-3206
	C2	6.90	2359	17 044	3000	22 403	2100	14 497	-7906
CK2	C1	7.92	2622	7450	3000	13 072	2100	16 632	3560
	C2	8.37	2359	7450	3000	12 809	2100	17 570	4761

施化肥)处理时净收入最高(4761 CNY·hm⁻²),其次为A1配施处理(3554 CNY·hm⁻²);当配施量过多时(A4),C1和C2品种的收益均表现出负盈利状态。总体来看,有机肥与化肥配施能够获得一定收益,但不同品种在不同配施用量下的收益波动较大,相比之下,单施化肥后的经济效益更稳定。

3 讨论

3.1 施肥量间小黑麦生产性能和营养品质的差异及原因

株高是禾本科牧草生产潜力的关键表征指标之一,能够直观反映牧草的纵向生长状态;枝条数是饲草分蘖能力的重要外在体现^[27],两者作为影响饲草产量的重要指标,与干草产量呈极显著正相关^[28]。本试验中施肥处理的株高和枝条数均显著高于不施肥处理,因此小黑麦的产量显著升高。各施肥处理间的枝条数无显著差异,而配施处理的株高显著高于单施化肥处理,这一差异可能是配施处理收获更高产量的原因。陆强等^[29]研究指出,在氮肥投入量低于单施化肥的条件下,水稻和小麦连续两季采用配施处理时,其籽粒产量与单施化肥相当,甚至优于化学肥料。本研究结果与上述结论相似,除A1处理外,A2、A3、A4配施处理与单施化肥相比,其干草产量间无显著差异。具体数据显示为,A2处理的干草产量比CK2多0.69 t·hm⁻²,A3比CK2的干草产量多0.22 t·hm⁻²,这表明配施处理在维持产量方面,具有与单施化肥相当的效果。产生该结果的原因可能有两方面:一方面,有机肥可促进作物生物量积累、增强抗旱能力,并提升土壤保水保墒能力^[30-32],使植物在恶劣环境下仍能保持相对稳定的生长态势;另一方面,有机肥提供的养分更丰富,且养分配比更加均衡,因此在总养分含量低于单施化肥处理时,仍能使作物获得高产。

然而小黑麦干草产量并未随着配施量的增加而持续增加,在A2处理下的干草产量最高,A3、A4处理的产量却有所降低,这可能是因为施肥量已经达到作物吸收的阈值,施肥量增大后反而发生“报酬递减”效应,也可能是因为干旱导致根系中养分吸收蛋白表达的减少^[33],对养分的需求也相应减少,植物自身生理活动的减弱无法有效利用肥料中的养分,最终降低了饲草产量。

牧草营养品质是衡量其饲用价值的关键指标。

通常来说,饲草中的粗蛋白含量越高,其品质越好^[34],相对饲喂价值越高则适口性越好。已有研究表明,施用化肥能够提高饲用小黑麦的粗蛋白含量,减少粗纤维含量^[5],本研究中有有机肥与化肥配施显著提高了小黑麦的CP含量和RFV,降低了粗纤维含量。有机肥与化肥配施后的CP含量和RFV高于单施化肥处理,这可能是因为有有机肥中所含有的丰富微量元素和有机质,能够改善土壤理化性状,促进作物叶片的光合作用^[35],进而促进了蛋白质的累积^[36]。所测定的2个小黑麦品种的粗蛋白含量在7.79%~10.73%之间,RFV在96.21~105.08之间,这与宋谦等^[22]在陇东地区测定的小黑麦品系营养品质结果相比较低,可能是材料不同或生育期气候不同造成的差异。

3.2 小黑麦品种间生产性能和营养品质的差异及原因

同样干旱条件下,2个小黑麦品种间生产性能无显著差异,但C1的株高、枝条数和干草产量略高于C2,可能是因为C1自身对养分的利用率更高或抗旱性更好。而C2的CP含量和RFV高于C1,可能与C2本身较多的叶片数有关,因此茎叶比更低^[37],营养品质更优。

不同小黑麦品种在生产性能和营养品质方面表现出显著差异,这种差异除了受自身遗传因素主导外,栽培条件及气候环境也会有影响,有研究显示,在影响春小黑麦籽粒产量变异的因素中,环境因素的贡献占比85%,基因因素占3%,而两者相互作用的贡献占11%^[38],其中水分的差异是关键环境因子之一。魏玉明等^[39]在陇西黄土高原干旱区测得‘甘农2号’小黑麦和‘甘农4号’小黑麦的干草产量分别为11.14和11.84 t·hm⁻²,本试验中2个小黑麦品种的干草产量分别为7.15和6.74 t·hm⁻²,与魏玉明测定结果相比明显偏低,这与小黑麦在生育期内的降水量偏低有关。降水量减少会诱导植物调整生物量的分配,将更多养分输送至地下器官,致使其地上部生物量减少^[40],小黑麦地上部生物量降低,造成干草产量减少,同时营养品质也随之下降。

3.3 施肥量与小黑麦品种交互作用间生产性能和营养品质的差异及原因

施肥对提高饲草产量具有显著作用,然而不同小黑麦品种对肥料的利用率存在差异。C1品种在A2、A3和A4配施处理下的干草产量高于C2,可能

是因为C1品种能更有效地摄取有机肥中的养分,转化为自身生长所需的物质,而C2品种在单施化肥处理下的干草产量更高,有可能是其对化肥的反应更加敏感;对2个小黑麦品种而言,无论配施或单施化肥处理下的干草产量均显著高于不施肥,单施化肥的增产效果明显低于有机肥与化肥配合施用,这与罗照霞等^[41]研究结果相似,进一步验证了配施有利于小黑麦实现高产稳产,可能是因为配施促进了氮(N)、磷(P)、钾(K)等元素向更易被作物吸收的有效形态转化,以及通过延缓叶片衰老进程,维持小黑麦群体合理的冠层结构^[42],使其能够高效地进行光合作用,合成并储备更多的光合产物;而单施化肥处理下,小黑麦叶片的衰老速度明显加快,制造的光合产物大幅减少,不利于小黑麦的生长发育和产量积累。

施肥处理下2个小黑麦品种的CP含量显著高于不施肥处理,可能是由于施肥增加了氮素供应,氮素能更多地参与植物代谢过程,进而促进了叶绿素和蛋白质的合成,维持了较高的光合效率^[5];而粗蛋白和粗纤维含量先升高后降低趋势,可能与枝条数的持续增加有关,过量施肥使小黑麦营养生长过旺,群体密度增大导致叶片郁蔽^[40],阻碍干物质的积累,品质下降。

3.4 经济效益可行性分析

农业生产中纯收入受到投入成本和收益的影响,在投入成本不变的情况下,小黑麦生育期内遭遇干旱导致干草产量过低,使收益和纯收入均减少。本试验中,A3配施处理下能够获得优质高产的饲草,但成本大幅增加后导致纯收入显著过低,甚至出现入不敷出的现象,不符合生产实际的需求,而筛选适宜施肥量的关键是在维持产量不降的前提下兼顾优质的营养品质,因此,A2配施处理更符合农民增产的目的,且A2处理下的产量和品质优于单施化肥处理,其次适量施用有机肥料能够增加土壤养分与微生物数量^[43-44],从经济效益和环境效益来看,有机肥与化肥配施仍具有可行性。此外,有机肥属于长效肥,短期很难有高收益,更利于长期试验,具体效益尚需进一步明确。

4 结论

施肥显著提高了2个小黑麦的干草产量、CP含量和RFV,在有机肥与化肥配施处理下均表现较

好,但不同施肥量对种植效益有着关键影响。综合评价时,从节本增效的角度出发,‘甘农2号’小黑麦在A2处理($240 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \text{ N}$,即 $160 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \text{ N}$ 有机肥+ $80 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2} \text{ N}$ 尿素配施)时可获得优质高产的饲草,同时兼顾经济效益;而‘甘农4号’小黑麦则在单施化肥处理下,综合评价价值最高且效益最佳。

参考文献

- [1] 田甜,张银霞,杜文华. 小黑麦叶绿体基因组密码子偏好性分析与基因功能相关性分析[J]. 草地学报,2025,33(3):707-718
TIAN T, ZHANG Y X, DU W H. Correlation between Codon usage patterns and gene functions in the chloroplast genome of *Triticale* [J]. Acta Agrestia Sinica, 2025, 33(3): 707-718
- [2] 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
YOU Y L, LI Y, ZHAO H M, et al. Effects of nitrogen and phosphate fertilizer application on yield and forage quality of forage *Triticale* on the Haihe Plain [J]. Acta Prataculturae Sinica, 2020, 29(3): 137-146
- [3] 岳竞之,孙迷平,陈丽,等. 刈割方式对豫西北地区小黑麦草产量和营养品质的影响[J]. 草地学报,2024,32(7):2297-2304
YUE J Z, SUN M P, CHEN L, et al. Effects of mowing methods on forage yield and nutritional quality of *Triticale* in north-west Henan Province, China [J]. Acta Agrestia Sinica, 2024, 32(7): 2297-2304
- [4] 任昱鑫,刘汉成,田新会,等. 氮肥施用量和播种密度对甘南高寒牧区小黑麦生产性能和营养价值的影响[J]. 草业科学,2019,36(10):2601-2611
REN Y X, LIU H C, TIAN X H, et al. Effects of the nitrogen application rate and sowing density on the productivity and nutritional value of $\times$ *Triticosecale* Wittmack in the Gannan area [J]. Pratacultural Science, 2019, 36(10): 2601-2611
- [5] 明雪花,王斌,王腾飞,等. 氮肥对饲用小黑麦生产性能及营养品质的影响[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版),2024,52(8):27-35
MING X H, WANG B, WANG T F, et al. Effects of nitrogen fertilizer on production performance and nutritional quality of forage *Triticale* [J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2024, 52(8): 27-35
- [6] 马文艳,曹东,刘宝龙,等. 追施氮肥下小黑麦综合生产性能差异分析[J/OL]. 分子植物育种,2024:1-15(2024-08-07) <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20240806.1757.002>.
MA W Y, CAO D, LIU B L, et al. Analysis of comprehensive performance difference of *Triticale* under nitrogen fertilizer application [J/OL]. Molecular Plant Breeding, 2024: 1-15 (2024-08-07). <https://link.cnki.net/urlid/46.1068.S.20240806.1757.002>
- [7] HE J S, LIU H C, REN Y X, et al. Effects of nitrogen fertilization rate and seeding density on the forage yield and quality of autumn-sown *Triticale* in an alpine grazing area of the Qinghai-Tibetan Plateau, China [J]. Grass and Forage Science, 2024, 79

- (3):392-403
- [8] CAZZATO E, LAUDADIO V, TUFARELLI V. Effects of harvest period, nitrogen fertilization and mycorrhizal fungus inoculation on *Triticale* ($\times$ *Triticosecale* Wittmack) forage yield and quality [J]. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 2012, 27(4):278-286
- [9] 曾希柏, 张佳宝, 魏朝富, 等. 中国低产田状况及改良策略 [J]. *土壤学报*, 2014, 51(4):675-682
- ZENG X B, ZHANG J B, WEI C F, et al. The status and reclamation strategy of low-yield fields in China [J]. *Acta Pedologica Sinica*, 2014, 51(4):675-682
- [10] 张北赢, 陈天林, 王兵. 长期施用化肥对土壤质量的影响 [J]. *中国农学通报*, 2010, 26(11):182-187
- ZHANG B Y, CHEN T L, WANG B. Effects of long-term uses of chemical fertilizers on soil quality [J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2010, 26(11):182-187
- [11] 孙若梅. 绿色农业生产:化肥减量与有机肥替代进展评价 [J]. *重庆社会科学*, 2019(6):33-43
- SUN R M. Production of green agriculture: an evaluation of the process of reducing chemical fertilizer and replacing with organic fertilizer [J]. *Chongqing Social Sciences*, 2019(6):33-43
- [12] HAN J Q, DONG Y Y, ZHANG M. Chemical fertilizer reduction with organic fertilizer effectively improve soil fertility and microbial community from newly cultivated land in the Loess Plateau of China [J]. *Applied Soil Ecology*, 2021, 165:103966
- [13] 史志强, 尉志强, 刘汉成, 等. 甘南高寒牧区小黑麦与豌豆混播草地对施肥种类的响应 [J]. *草地学报*, 2025, 33(1):295-306
- SHI Z Q, YU Z Q, LIU H C, et al. Response of mixed grassland of *Triticale* and peas to fertilizer types in the alpine pastoral areas of Gannan [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2025, 33(1):295-306
- [14] 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, 2011:21-34
- YANG X H. Effect of yield and quality with N regulation on *Triticale* of different harvest time [D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2011:21-34
- [15] 王春宏, 杜晓坤, 张迪, 等. 氮肥施用技术对小黑麦产量及饲用品质的影响 [J]. *东北农业大学学报*, 2012, 43(11):20-23
- WANG C H, DU X K, ZHANG D, et al. Effect of nitrogen fertilization technology on yield and quality of *Triticale* rim Pau [J]. *Journal of Northeast Agricultural University*, 2012, 43(11):20-23
- [16] 张文洁, 马冉冉, 袁洁, 等. 有机无机肥配施对多花黑麦草产量、饲用和青贮发酵品质的影响 [J]. *中国草地学报*, 2022, 44(4):76-84
- ZHANG W J, MA R R, YUAN J, et al. Effects of combined application of organic and inorganic fertilizers on yield, and feeding and silage qualities of Italian ryegrass [J]. *Chinese Journal of Grassland*, 2022, 44(4):76-84
- [17] 高菊生, 秦道珠, 中华平, 等. 湘南冬闲稻田小黑麦高产栽培技术研究 [J]. *耕作与栽培*, 2000, 20(5):8-9
- GAO J S, QIN D Z, SHEN H P, et al. Study on high-yield cultivation techniques of *Triticale* in winter fallow rice fields in southern Hunan [J]. *Tillage and Cultivation*, 2000, 20(5):8-9
- [18] 徐静, 孙敏, 苗果园, 等. 生土条件下施肥对小黑麦生长状况及生理功能的影响 [J]. *安徽农业科学*, 2009, 37(11):4929-4931
- XU J, SUN M, MIAO G Y, et al. Effects of different fertilizer treatments on the growth and physiological function of *Triticale* in raw soil [J]. *Journal of Anhui Agricultural Sciences*, 2009, 37(11):4929-4931
- [19] 李春喜, 张令令, 马守臣, 等. 有机培肥和减施氮肥对小麦光合特性和氮素吸收及产量的影响 [J]. *西北植物学报*, 2017, 37(5):943-951
- LI C X, ZHANG L L, MA S C, et al. Effects of organic fertilization combined with reduced nitrogen fertilizer on wheat photosynthetic characteristics, nitrogen uptake and grain yield [J]. *Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica*, 2017, 37(5):943-951
- [20] 裴雪霞, 党建友, 张定一, 等. 化肥减量配施有机肥对旱地小麦产量、品质和水分利用率的影响 [J]. *水土保持学报*, 2021, 35(4):250-258
- PEI X X, DANG J Y, ZHANG D Y, et al. Effects of chemical fertilizer reduction combined with organic fertilizer on the yield, quality, and water use efficiency of dryland wheat [J]. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2021, 35(4):250-258
- [21] 任昱鑫, 刘汉成, 田新会, 等. 甘南高寒牧区秋播小黑麦对氮肥施用量和播种密度的响应 [J]. *草地学报*, 2019, 27(4):1044-1051
- REN Y X, LIU H C, TIAN X H, et al. Response of the autumn sown *Triticale* to the nitrogen fertilizing rate and seeding density in the alpine grazing area of Gannan [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2019, 27(4):1044-1051
- [22] 宋谦, 余小亮, 马淑梅, 等. 陇东地区秋播小黑麦的草产量及营养价值研究 [J]. *饲料研究*, 2022, 45(6):90-93
- SONG Q, YU X L, MA S M, et al. Study on forage yield and nutritional value of autumn-sown *Triticale* in eastern area of Gansu Province [J]. *Feed Research*, 2022, 45(6):90-93
- [23] 张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术 [M]. 第4版. 北京:中国农业大学出版社, 2016:50-60
- [24] 赵雅姣, 刘晓静, 蔺芳. 兰州地区不同间套作饲草组合对其营养和饲用品质的影响 [J]. *草地学报*, 2024, 32(10):3241-3251
- ZHAO Y J, LIU X J, LIN F. Effects of different intercropping systems with forage combinations on their nutrition and feeding quality in Lanzhou area [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2024, 32(10):3241-3251
- [25] 魏晓丽, 徐成体, 蒲小剑, 等. 海北州小黑麦与饲用型豌豆混播生产性能及营养品质分析 [J]. *草地学报*, 2022, 30(1):236-244
- WEI X L, XU C T, PU X J, et al. Analysis of production performance and nutritional quality of mixed seeding of *Triticale* and forage peas in Haibei prefecture [J]. *Acta Agrestia Sinica*, 2022, 30(1):236-244
- [26] 王腾飞, 马霞, 刘金龙, 等. 引黄灌区复种饲用燕麦种植模式产量、品质及经济效益分析 [J]. *草业学报*, 2025, 34(4):27-37
- WANG T F, MA X, LIU J L, et al. Analysis of the yield, quality and economic benefits from multiple cropping of fodder oats in the Yellow River irrigation area [J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2025, 34(4):27-37
- [27] 何鹏亮, 揭红东, Adnan Rasheed, 等. 湖南地区饲用小黑麦和多花黑麦草的生产性能比较研究 [J]. *中国草地学报*, 2024, 46(4):144-150

- HE P L, JIE H D, RASHEED A, et al. Comparative study on production performance of forage *Triticale* and Italian ryegrass in Hunan Province[J]. Chinese Journal of Grassland, 2024, 46(4):144-150
- [28] 马霞,王斌,王腾飞,等. 宁夏盐碱地饲用小黑麦品种(系)生产性能及营养品质综合评价[J]. 西北农林科技大学学报(自然科学版), 2024, 52(9):19-29
- MA X, WANG B, WANG T F, et al. Comprehensive evaluation of production performance and nutritional quality of forage *Triticale* varieties (lines) in saline alkali land of Ningxia[J]. Journal of Northwest A & F University (Natural Science Edition), 2024, 52(9):19-29
- [29] 陆强,王继琛,李静,等. 秸秆还田与有机无机肥配施在稻麦轮作体系下对籽粒产量及氮素利用的影响[J]. 南京农业大学学报, 2014, 37(6):66-74
- LU Q, WANG J C, LI J, et al. Effect of straw returning and combined applications of organic fertilizer and inorganic fertilizer on grain yield and nitrogen utilization under rice-wheat rotation system[J]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2014, 37(6):66-74
- [30] 贾南豫,朱水英,蒋栋,等. 施用液体有机肥对干旱胁迫下玉米和小麦生长及根际微生物的影响[J]. 南京农业大学学报, 2025, 48(5):1060-1069
- JIA N Y, ZHU S Y, JIANG D, et al. The effect of liquid organic fertilizer on the growth and rhizosphere microorganisms of corn and wheat under drought stress[J/OL]. Journal of Nanjing Agricultural University, 2025, 48(5):1060-1069
- [31] 孙宁科,索东让. 有机肥与化肥长期配施对作物产量和灌漠土养分库的影响[J]. 水土保持通报, 2011, 31(4):42-46
- SUN N K, SUO D R. Effects of long-term mixed use of organic manure and chemical fertilizers on crop yield and indigenous soil nutrients[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2011, 31(4):42-46
- [32] SINGH N, SINGH C A K, SINGH S. Stress physiology and metabolism in hybrid rice. I. Organic manures improve physical soil characteristics and drought tolerance[J]. Journal of Crop Improvement, 2019, 33(6):755-775
- [33] BISTA D R, HECKATHORN S A, JAYAWARDENA D M, et al. Effects of drought on nutrient uptake and the levels of nutrient-uptake proteins in roots of drought-sensitive and-tolerant grasses[J]. Plants, 2018, 7(2):28
- [34] 周兰兰,何振富,李明军,等. 种植密度和有机肥施用量对小黑麦C₆产量和品质的影响[J]. 饲料研究, 2023, 46(1):120-124
- ZHOU L L, HE Z F, LI M J, et al. Effect of planting density and organic fertilizer application on yield and quality of *Triticale* C₆[J]. Feed Research, 2023, 46(1):120-124
- [35] HAMMAD H M, KHALIQ A, ABBAS F, et al. Comparative effects of organic and inorganic fertilizers on soil organic carbon and wheat productivity under arid region[J]. Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2020, 51(10):1406-1422
- [36] 杜光辉,史鹏飞,聂良鹏,等. 有机肥替代氮肥对小麦产量、品质及养分积累的影响[J]. 江苏农业科学, 2023, 51(18):83-87
- DU G H, SHI P F, NIE L P, et al. Effects of organic fertilizer instead of nitrogenous fertilizer on yield, quality and nutrient accumulation of wheat[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2023, 51(18):83-87
- [37] 褚红丽,田新会,杜文华. 不同小黑麦种质在甘肃中部地区的农艺性状比较[J]. 草原与草坪, 2024, 44(1):106-112
- CHU H L, TIAN X H, DU W H. Comparative on agronomic traits of different *Triticale* germplasm in central Gansu Province[J]. Grassland and Turf, 2024, 44(1):106-112
- [38] 柴守玺,常磊,杨蕊菊,等. 小黑麦基因型与环境互作效应及产量稳定性分析[J]. 核农学报, 2011, 25(1):155-161, 184
- CHAI S X, CHANG L, YANG R J, et al. Analysis on genotype×environment interactions and yield stability of *Triticale* [J]. Journal of Nuclear Agricultural Sciences, 2011, 25(1):155-161, 184
- [39] 魏玉明,杨发荣,黄杰,等. 不同品种(系)小黑麦在陇中半干旱区的产量与品质分析比较[J]. 饲料研究, 2023, 46(11):133-138
- WEI Y M, YANG F R, HUANG J, et al. Analysis and comparison on yield and quality of different *Triticale* wittmack varieties (lines) in semi-arid area of central Gansu Province[J]. Feed Research, 2023, 46(11):133-138
- [40] 刘晶,曲广鹏,田新会,等. 基于响应面设计的饲草型小黑麦新品系C31栽培条件优化筛选[J]. 草业学报, 2019, 28(1):37-49
- LIU J, QU G P, TIAN X H, et al. Optimal cultivation conditions for forage *Triticale* line C31, based on a response surface experiment[J]. Acta Prataculturae Sinica, 2019, 28(1):37-49
- [41] 罗照霞,杨志奇,俄胜哲. 长期施肥对冬小麦产量、养分吸收利用的影响[J]. 麦类作物学报, 2015, 35(4):528-534
- LUO Z X, YANG Z Q, E S Z. Effect of long-term fertilization on nutrient absorption and yield of winter wheat[J]. Journal of Triticeae Crops, 2015, 35(4):528-534
- [42] 赵隽,董树亭,刘鹏,等. 有机无机肥长期定位配施对冬小麦群体光合特性及籽粒产量的影响[J]. 应用生态学报, 2015, 26(8):2362-2370
- ZHAO J, DONG S T, LIU P, et al. Effects of long-term mixed application of organic and inorganic fertilizers on canopy apparent photosynthesis and yield of winter wheat[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2015, 26(8):2362-2370
- [43] 司海丽,纪立东,刘菊莲,等. 有机肥施用量对玉米产量、土壤养分及生物活性的影响[J]. 西南农业学报, 2022, 35(4):740-747
- SI H L, JI L D, LIU J L, et al. Effects of organic fertilizer application rate on maize yield, soil nutrients and biological activity[J]. Southwest China Journal of Agricultural Sciences, 2022, 35(4):740-747
- [44] CUI J W, YANG B G, ZHANG M L, et al. Investigating the effects of organic amendments on soil microbial composition and its linkage to soil organic carbon: A global meta-analysis[J]. The Science of The Total Environment, 2023, 894:164899

(责任编辑 彭露茜)