梁小玉,季　杨,胡远彬,等. 豆科作物与青贮玉米间作对混合饲草生产性能及品质的影响[J]. 江苏农业科学,2023,51(12):158 - 164.
doi:10.15889/j.issn.1002 - 1302.2023.12.022

豆科作物与青贮玉米间作对混合饲草生产性能及品质的影响

梁小玉[1], 季　杨[1], 胡远彬[1], 易　军[1], 张　靓[1], 姚茂义[2]
(1. 四川省畜牧科学研究院,四川成都 610066; 2. 四川省合江县农业农村局,四川合江 646200)

摘要:为了研究不同种豆科作物与不同品种青贮玉米间作对混合饲草生产性能和品质的影响,以期探索适宜四川农区及类似生态区青贮玉米和豆科作物间作模式。本研究设置青贮玉米(3 个品种)、豇豆、四季豆和拉巴豆 6 个单作模式,以及 3 个品种青贮玉米分别与豇豆、四季豆和拉巴豆间作的 9 个种植模式,共计 15 个处理,分析不同处理对土地当量比、青贮玉米农艺性状、干草产量及营养价值的影响。结果表明,间作处理土地当量比均大于 1,具有间作优势,紧凑型玉米间作处理增产率和土地当量比值高于平散型和半紧凑型间作处理,A2B3 增产率和土地当量比值最高,分别达到 79.01% 和 2.68;与单作比较,间作处理对青贮玉米株高、茎粗、绿叶数、全株产量以及豆科作物产量均无显著影响;混合饲草粗蛋白、粗脂肪等营养成分及干草产量显著或极显著高于其单作青贮玉米;豆科作物对间作总产量贡献由大到小的顺序依次是四季豆 > 豇豆 > 拉巴豆,对营养品质贡献则反之;15 个处理中,A2B1 干草产量最高,为 29 485 kg/hm^2,其次为 A1B1,为 28 677 kg/hm^2。综合考虑产量、品质及消化率,A1B1 为最佳推广种植模式。

关键词:豆科作物;青贮玉米;间作;生产性能;品质
中图分类号:S344.2;S816.5$^+$3　　**文献标志码:**A　　**文章编号:**1002 - 1302(2023)12 - 0158 - 06

青贮玉米具有产量和能量高、营养丰富等优良特性,是世界应用最广泛的青贮饲料,也是反刍动物的重要饲料来源,生产奶、肉等畜产品的根本保障[1-4]。畜牧业发达国家对青贮玉米品种、配套种植技术及机械青贮加工利用技术等进行了深入系统的研究,青贮玉米产业发达,而我国青贮玉米产业还处于发展中,主产区在东北和华北,随着奶牛南迁及草牧业的快速发展,青贮玉米在南方种植面积逐年扩大[5]。但是,我国幅员辽阔,南北地理、气候以及种植习惯方式差异较大,因此,有效利用南方丰富的自然资源提高青贮玉米生物产量与品质对推动南方畜牧业发展具有非常重要的意义。

青贮玉米生长过程中对土地的消耗很大,而不同的栽培模式对土地消耗及青贮玉米的产量会产生较大的影响[6]。科学合理的间套作尤其是禾 - 豆间套不仅可以提高土地利用率,促进农作物增产、提高作物抗逆性,而且能减少农药施用量,提高经济效益,同时开拓环境友好型农业生产[7-11]。目前,国内对玉/豆间套作研究较多,尤其是玉米与大豆和拉巴豆间套的研究[9,12-13]。四季豆、豇豆和拉巴豆是南方各省区在春季广泛种植、营养价值高、适应性强的作物,均具有攀援性生长特性,种植时需要人工搭架,浪费人力和财力,与青贮玉米间作则可以减少这一成本,但相关研究却鲜有报道。因此,本研究根据青贮玉米与四季豆、豇豆和拉巴豆的生长习性,研究 3 种豆科作物对不同品种青贮玉米生产性能及品质的影响,旨在探索适宜四川农区及相似亚热带季风性湿润气候生态区推广的种植模式,为促进我国畜牧业快速发展,优化种植业结构和增加农业比较效益提供技术支撑。

1　材料与方法

1.1　试验地概况

试验地位于四川省成都市郫都区安德镇安龙村,属中亚热带季风性湿润气候,海拔 600 m,地理位置为 30°51′N、103°47′E,年平均气温 15.8 ℃,最热月(8 月)均温 26.5 ℃,最冷月(1 月)均温 6 ℃,极端最高气温 38.6 ℃,极端最低气温 - 4 ℃,年降水量 985 mm,年蒸发量 1 025.5 mm,相对湿度 80%,日照时数 1 060.5 h,无霜期 280 d,≥10 ℃年

收稿日期:2022 - 07 - 07
基金项目:四川省科技计划(编号:2021YFYZ0013 - 4);四川省现代畜牧业发展类项目(编号:SASA2022CZYX003)。
作者简介:梁小玉(1976—),女,四川合江人,博士,研究员,主要从事草资源收集评价、育种和栽培研究。E - mail:798799266@qq.com。

积温为 5 697.5 ℃。土壤为淹育型水稻土,pH 值为 7.2,有机质含量为 2.68%,速效 N、P、K 含量分别为 145.1、18.5、40.2 mg/kg。

1.2　试验材料及来源

供试材料为四川农区常用的青贮玉米品种与豆科作物品种,均来源于本地农资市场。青贮玉米品种为中晚熟且株型半紧凑的“川单青贮 1 号”(B1)、中晚熟且株型平展的“雅玉 8 号”(B2)、中熟且株型紧凑的“雅玉 719”(B3);豆科作物品种为早熟“新选小五叶”豇豆(A1)、早中熟“川育红花青荚”四季豆(A2)和晚熟“润高”拉巴豆(A3)。

1.3　试验设计

试验采用随机区组设计,共设 15 个处理,包括 9 个间作处理(A1B1、A2B1、A3B1、A1B2、A2B2、A3B2、A1B3、A2B3、A3B3)、6 个单作处理(B1、B2、B3、A1、A2、A3),每个处理 3 次重复,共计 45 个小区。每个小区面积为 30 m^2(5.0 m×6.0 m),走道宽 0.5 m,保护行宽 0.5 m。播前除杂翻耕,耕深 25~30 cm,精细整地,同时施复合肥(N、P_2O_5、K_2O 含量均为 15%)300 kg/hm^2。4 月 17 日播种青贮玉米,单作和间作青贮玉米株行距均为 30 cm×50 cm,4 月 29 日播种豆科作物,间作处理采取禾豆同行 1∶1 比例播种,豆科作物与青贮玉米间间距为 8 cm 左右。播种方式均为穴播,播深 2~3 cm,每穴播 2~3 粒种子,苗龄达到 4~6 张叶时定苗,每穴仅留 1 株健壮苗,定苗后统一正常田间管理。单作豆科作物每穴立支撑架引蔓。

1.4　测定指标和计算方法

1.4.1　农艺性状　绝大多数青贮玉米处于乳熟中期至蜡熟前期时,每个重复小区随机选取 10 株测定株高、茎粗、单株穗质量、穗位叶叶长及叶宽,取平均值。具体测定方法参考《草原学与牧草学实习实验指导书》[14]。穗位叶叶面积参照马璠等的计算方式[15],叶面积=叶长×叶宽×0.75。

1.4.2　干草产量及增产率　2020 年 8 月 21 日,绝大多数青贮玉米处于乳熟中期至蜡熟前期时,所有处理统一收获,测产时先除去试验小区两侧边行及小区两头各 50 cm 之内的植株后再刈割全株测定鲜草产量(间作小区总产量为青贮玉米和豆科作物分开测定产量相加之和),再通过营养成分测定的干物质含量结合鲜质量计算饲草干质量。增产率=(青贮玉米间作处理干草总产量/青贮玉米单作处理干草产量-1)×100%。

1.4.3　主要营养成分测定　取测产时的样品进行粉碎处理(间作小区鲜草样为青贮玉米和豆科作物的混合样)。采用张丽英的方法[16]测定牧草营养成分,测定指标包括干物质、粗蛋白、粗脂肪、粗灰分和粗纤维含量。

1.4.4　土地当量比　土地当量比表示间作与单作所需土地的比值,比值大于 1 时表明具有一定的间作优势,计算方法参照黄宗昌等介绍的方法[8,17]。

1.5　数据处理

采用 Excel 2007 和 SPSS 17.0 软件对试验数据进行处理和统计分析。

2　结果与分析

2.1　不同种植模式下青贮玉米主要农艺性状差异

由表 1 和表 2 可知,3 个青贮玉米品种单作时,B1 的茎粗、叶长、叶面积、绿叶数以及单株穗质量等 5 个农艺性状指标值均显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)高于 B2 或 B3;B3 植株最高,为 304.2 cm,极显著($P<0.01$)高于 B1 和 B2。间作豆科作物后,青贮玉米的 7 个农艺性状指标均有不同程度变化,其中,大部分间作处理株高降低、茎粗增加、绿叶数增加,但与其净作处理间差异均未达显著水平;大部分间作处理叶宽、叶长、叶面积及单株穗质量值与其净作处理间差异也未达显著水平。但 A1B3 和 A2B3 的叶面积及 A2B3 的单株穗质量均增加,且与其单作 B3 间差异分别达到显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)水平,而 A3B2 的叶面积、所有拉巴豆间作处理的青贮玉米单株穗质量均降低,且分别与其单作间差异达到显著($P<0.05$)或极显著($P<0.01$)水平。可见,豇豆、四季豆与青贮玉米间作会对青贮玉米农艺性状产生影响,但影响幅度很小,而拉巴豆对青贮玉米单株穗质量负面影响较大。

2.2　不同种植模式下草产量与土地当量比差异

2.2.1　不同种植模式干草产量差异　由表 2 可知,不同青贮玉米品种单作时,B1 全株干草产量最高,达到 16 942 kg/hm^2,与 B2 和 B3 间差异达到极显著($P<0.01$)水平;间作后,除 A2B2 和 A2B3 处理外,其余间作处理青贮玉米全株干草产量均降低,但与其单作间产量差异均未达到显著水平。不同豆科作物单作时,四季豆全株干草产量最高,达到 13 148 kg/hm^2,拉巴豆最低,仅 6 739 kg/hm^2,四季豆与豇豆间产量差异不显著,但两者均极显著($P<$

表 1　不同处理青贮玉米的农艺性状

处理	株高（cm）	茎粗（cm）	叶宽（cm）	叶长（cm）	叶面积（cm^2）	绿叶数（张）
A1B1	274.8 ±7.9Bbc	2.3 ±0.04ABab	11.3 ±0.8Aa	99.4 ±2.0Aa	842.4 ±5.8Aa	14.5 ±0.5Aa
A2B1	269.3 ±8.7Bc	2.25 ±0.06Bb	11.1 ±0.1Aa	101.2 ±2.5Aa	842.5 ±6.3Aa	14.0 ±1.7ABa
A3B1	265.9 ±8.1Bc	2.37 ±0.07Aa	11.4 ±0.4Aa	97.7 ±1.7ABab	835.3 ±7.2Aa	14.8 ±0.4Aa
B1	270.1 ±3.5Bc	2.29 ±0.05ABab	10.9 ±0.6ABab	103.1 ±3.8Aa	842.8 ±6.8Aa	14.4 ±0.7Aa
A1B2	275.3 ±10.3Bbc	2.15 ±0.02BCc	9.7 ±0.5BCbc	91.4 ±1.9Bb	664.9 ±5.4Bb	12.0 ±0.5Bbc
A2B2	276.5 ±8.9Bbc	2.22 ±0.05ABbc	10.2 ±0.5Bb	87.4 ±7.0Bc	668.6 ±9.1Bb	12.2 ±1.0Bb
A3B2	271.2 ±5.0Bc	2.20 ±0.05Bbc	9.8 ±0.5BCbc	88.3 ±2.5Bbc	649.0 ±6.6Bc	12.9 ±0.7ABb
B2	281.0 ±5.8Bbc	2.16 ±0.03BCc	9.5 ±0.5BCbc	94.0 ±4.7ABb	669.8 ±7.5Bb	12.0 ±0.9Bbc
A1B3	297.7 ±13.0ABab	2.18 ±0.07BCc	9.0 ±0.4Ccd	75.0 ±2.8Cd	506.3 ±5.3CDe	10.3 ±0.3Cd
A2B3	296.9 ±14.5ABab	2.18 ±0.03BCc	9.3 ±1.1BCc	76.6 ±4.5Cd	534.3 ±8.6Cd	10.7 ±0.4Cd
A3B3	297.5 ±9.3ABab	2.19 ±0.06BCc	9.0 ±0.6Ccd	73.7 ±1.5Cd	497.5 ±9.2Df	10.9 ±0.4Ccd
B3	304.2 ±2.8Aa	2.13 ±0.09Cc	8.5 ±0.4Cd	77.7 ±2.4Cd	495.3 ±5.6Df	10.6 ±0.6Cd

注：同列数据后不同小写字母表示差异显著（$P<0.05$），不同大写字母表示差异极显著（$P<0.01$）。下同。

0.01）高于拉巴豆。间作后，仅 A1B1 增产，但与其净作 A1 间差异未达显著水平，豇豆、四季豆、拉巴豆其余处理均表现为减产，但仅部分处理与其净作间产量差异达显著水平（$P<0.05$）。

间作处理混合饲草干草总产量均极显著（$P<0.01$）高于其单作干草产量，但不同组合间产量差异较大。对同一种豆科作物间作处理而言，B1 间作处理干草总产量显著（$P<0.05$）或极显著（$P<0.01$）高于 B2 和 B3 对应相同豆科作物的间作总产；而对同一品种青贮玉米间作处理而言，豇豆和四季豆间作处理间干草产量差异不显著，但均极显著高于拉巴豆间作处理。9 个间作处理中，干草总产量最高的处理为 A2B1，达到 29 485 kg/hm^2，其次为 A1B1，为 28 677 kg/hm^2，两者间差异不显著，但与其他处理（除 A2B3 外）间差异达到极显著水平（$P<0.01$），反之，最低的处理为 A3B2，仅 18 464 kg/hm^2。

可见，不同豆科作物及青贮玉米干草产量差异主要源于其种（品种）间遗传特异性；豆科作物与青贮玉米间作时，间作对青贮玉米及豆科作物干草产量均会产生一定程度的负面影响，但是对前者影响较小，对后者影响较大，而 3 种豆科作物中，间作对豇豆的干草产量影响最小。

2.2.2　不同种植模式下的青贮玉米增产率及土地当量比　由表 2 可知，与青贮玉米单作比较，青贮玉米间作处理干草总产量均增产，但不同组合增产率有所不同。其中，A2B3 干草总产量为 25 793 kg/hm^2，排名第 3，但其增产率最高，达到 79.01%，显著（$P<0.05$）或极显著（$P<0.01$）高于其他间作处理（A2B1 除外）；A3B2 总产量和增产率均最低，分别为 18 464 kg/hm^2 和 24.88%。间作后，各处理土地当量比值均大于 1，其中，A2B3 最高，为 2.68，A1B3 次之，为 2.51，A3B2 处理最低，为 1.29。总体看，对同一种豆科作物而言，B3 间作处理增产率和土地当量比值最高，其次是 B1，B2 最低；而同一青贮玉米品种分别与豇豆和四季豆间作时，干草增产率及土地当量比值无显著差异，但均极显著（$P<0.01$）高于拉巴豆间作处理。由此可见，间作处理干草总产量由青贮玉米和豆科作物产量两部分构成，土地利用效率显著高于单作；青贮玉米间作处理饲草增产来源为豆科作物，豆科作物对总产量贡献由大到小的顺序依次是四季豆 > 豇豆 > 拉巴豆；3 个青贮玉米品种与不同豆科作物间作时，增产潜力有所不同，B3 增产幅度最大。

2.3　不同种植模式下青贮玉米及混合饲草主要营养成分评价

由表 3 可知，不同品种青贮玉米单作时，B3 干物质、粗脂肪、粗纤维和粗灰分含量最高，分别达到 24.38%、1.76%、29.89% 和 6.78%，但前 3 个指标值在品种间的差异均未达显著水平，而 B1、B2 和 B3 两两间粗灰分含量差异均达到显著水平（$P<0.05$），此外，B2 粗蛋白含量最高，为 7.95%，与 B1 间差异不显著，但两者均极显著（$P<0.01$）高于 B3（6.56%）。可见，3 个品种中 B2 营养价值最高，消化率最好，其次为 B1。

与单作青贮玉米比较，间作处理混合饲草样干物质含量均降低，且与其单作处理间差异达显著

表 2　不同种植模式产量及增产情况

处理	青贮玉米全株产量（kg/hm²）	豆科作物产量（kg/hm²）	单株穗鲜质量（kg/hm²）	总产量（kg/hm²）	增产率（%）	土地当量比值
A1B1	16 442 ± 1 140ABa	12 235 ± 1 063ABab	0.483 ± 0.008ABab	28 677 ± 1 333Aa	69.26Bb	1.97Bb
A2B1	16 673 ± 1 092Aa	12 811 ± 877Aa	0.515 ± 0.011Aa	29 485 ± 1 681Aa	74.03Aab	2.03Bb
A3B1	16 553 ± 1 417ABa	6 023 ± 448Ce	0.440 ± 0.011BCc	22 577 ± 1 200BCc	33.26Cc	1.47Cc
B1/A1	16 942 ± 808Aa	12 200 ± 765ABab	0.500 ± 0.017Aab	16 942 ± 808Ee	—	—
A1B2	13 445 ± 990BCbc	11 967 ± 1 544ABb	0.407 ± 0.015Cd	25 411 ± 802Bb	71.87ABb	1.82Bb
A2B2	14 810 ± 952Bb	10 574 ± 1 560Bc	0.460 ± 0.012BCbc	25 384 ± 795Bb	71.69ABb	1.81Bb
A3B2	13 394 ± 2 088BCbc	5 070 ± 306Cef	0.380 ± 0.018Ce	18 464 ± 1 961Dd	24.88Dd	1.29Cc
B2/A2	14 785 ± 1 105Bb	13 148 ± 1 031Aa	0.434 ± 0.010BCcd	14 785 ± 1 105Ff	—	—
A1B3	13 291 ± 1 203Cc	10 677 ± 1 937Bc	0.387 ± 0.017Cde	23 968 ± 3 511Bbc	66.35 Bb	2.51Aa
A2B3	14 469 ± 1 082BCbc	11 325 ± 697ABb	0.480 ± 0.014ABb	25 7930 ± 799ABb	79.01Aa	2.68Aa
A3B3	13 895 ± 2 278BCbc	6 164 ± 820Cde	0.374 ± 0.013Ce	20 059 ± 2 233Cc	39.22Cc	1.88Bb
B3/A3	14 409 ± 1 142BCbc	6 739 ± 292Cd	0.420 ± 0.013Cd	14 409 ± 1 142Ff	—	—

表 3　青贮玉米单作及间作处理饲草营养成分　%

处理	干物质含量	粗蛋白含量	粗脂肪含量	粗灰分含量	粗纤维含量
A1B1	23.29 ± 0.10ABbc	10.37 ± 0.12BCc	1.90 ± 0.14BCc	6.34 ± 0.01Cc	30.20 ± 2.55ABab
A2B1	23.51 ± 0.07ABb	8.71 ± 0.06Dd	2.26 ± 0.13Bb	6.82 ± 0.09Cc	32.42 ± 2.32Aa
A3B1	22.99 ± 0.09BCc	11.38 ± 0.05ABb	2.67 ± 0.18ABab	8.34 ± 0.03Bb	28.15 ± 4.07ABb
B1	24.15 ± 0.01ABa	7.75 ± 0.08Ee	1.72 ± 0.11Ccd	5.17 ± 0.06Ce	29.29 ± 3.86ABb
A1B2	23.34 ± 0.04ABb	11.05 ± 0.02ABb	1.47 ± 0.11Cd	7.94 ± 0.09Bb	29.67 ± 3.06ABb
A2B2	23.62 ± 0.13ABb	8.13 ± 0.06DEde	1.72 ± 0.10Ccd	6.65 ± 0.07Cc	32.65 ± 1.67Aa
A3B2	22.32 ± 0.36Cc	12.17 ± 0.01Aa	2.21 ± 0.12BCbc	9.72 ± 0.06Aa	25.16 ± 3.81Bc
B2	24.26 ± 0.48ABa	7.95 ± 0.11DEe	1.46 ± 0.10Cd	6.02 ± 0.02Cd	26.66 ± 3.33Bbc
A1B3	22.56 ± 0.09BCc	9.97 ± 0.10Cc	2.50 ± 0.22ABb	6.28 ± 0.04Ccd	29.59 ± 3.12ABb
A2B3	23.16 ± 0.05BCbc	8.54 ± 0.03DEde	2.66 ± 0.16ABab	6.75 ± 0.08Cc	30.48 ± 2.71ABab
A3B3	21.95 ± 0.01Cc	10.95 ± 0.02Bbc	2.92 ± 0.20Aa	8.39 ± 0.10Bb	26.71 ± 4.21Bc
B3	24.38 ± 0.06ABa	6.56 ± 0.12Ff	1.76 ± 0.13Ccd	6.78 ± 0.08Cc	29.89 ± 3.55ABab

（$P<0.05$）或极显著（$P<0.01$）水平；粗蛋白含量均极显著（$P<0.01$）增加（除 A2B2 外）；粗脂肪和粗灰分含量显著（$P<0.05$）或极显著（$P<0.01$）增加；豇豆与四季豆间作处理混合饲草粗纤维含量也增加，而拉巴豆间作处理反之，但间作与其单作间差异多数未达到显著水平。间作处理间，同一品种青贮玉米间作不同种豆科作物时，拉巴豆间作处理混合饲草粗蛋白和粗灰分含量显著（$P<0.05$）或极显著（$P<0.01$）高于豇豆和四季豆间作处理，粗纤维含量显著低于豇豆和四季豆间作处理，粗脂肪含量增幅最大，且与豇豆间作处理达到显著水平（$P<0.05$）。同一种豆科作物间作不同青贮玉米品种时，B2 间作处理粗蛋白和粗纤维含量指标普遍优于 B1 和 B3 间作处理。其中，干物质含量最高的处理为 A2B2，为 23.62%，但与 A2B1、A1B1、A1B2 和 A2B3 间差异均不显著。粗蛋白含量最高的为 A3B2，为 12.17%，显著（$P<0.05$）或极显著（$P<0.01$）高于其他处理；粗脂肪含量最高的为 A3B3，为 2.92%。

可见，青贮玉米间作豆科作物能够极大改善混合饲草粗蛋白和粗脂肪 2 项营养评价指标，而拉巴豆间作处理对间作系统营养品质和消化率提升效果最好。总体看，豆科作物对提高混合饲草营养价值贡献由大到小的顺序依次为拉巴豆 > 豇豆 > 四季豆。

3　讨论

3.1　间作对青贮玉米农艺性状的影响

青贮玉米生物产量受多个农艺性状影响，如株高、茎粗、叶长、叶宽、绿叶数和穗位叶面积等[18-21]，

滕辉升等研究发现,农艺性状指标对生物产量贡献大小依次为茎粗 > 株高 > 穗位叶面积 > 绿叶数[18],本研究结果类似,主要产量因子表现最好的 B1 产量最高。玉米的农艺性状和产量性状的变化取决于遗传性、环境条件和栽培模式三者之间的相互作用,诸多研究表明,青贮玉米与豆科作物间作时,其农艺性状变化因间作物种(品种)、生长空间、种植模式、栽培方法等不同也有所不同[6,13,22-23]。本研究中,青贮玉米间作后各农艺性状均受间作影响,且不同品种间作组合间有所差异,但变化幅度小。孟凡凡等将 17 个玉米品种与大豆间作,其间作玉米株高降低,茎粗增加,但大部分品种性状改变与其单作间差异不显著,且品种间差异较大[24],本研究结果与之类似。田应学等将青贮玉米与拉巴豆套种则得到不同的结果,其间作青贮玉米株高、干物质和叶长值均较其单作增大,叶片数和叶宽减小[23]。诸多研究表明,不同玉、豆间作的株型、叶型、需光特性不同,且间作密度较单作增大,群体内部和下部的受光状况相应改变,进而对青贮玉米的农艺性状造成不同的影响[22-23,25],而本研究中参与间作的青贮玉米和豆科作物品种(种)、株型、熟性等自身遗传差异较大,种植方式(禾豆比例、密度)以及禾豆之间互作影响不同,因此,得到的结果也有所不同。3 种豆科作物中,拉巴豆对间作青贮玉米品种主要农艺性状影响最大即是上述多种因素综合影响的结果,拉巴豆较豇豆和四季豆的叶片更宽大,叶量更丰富,对青贮玉米的遮光度更大,且拉巴豆较豇豆和四季豆特晚熟,一直处于旺盛的营养生长阶段,可能与处于生殖生长阶段的青贮玉米竞争养分,因此对玉米穗的影响更大。

3.2　间作对草产量的影响

遗传效应、生态环境、水热条件以及栽培管理措施等多种因素对作物的产量均有较大的影响[26]。研究表明,不是所有的间套作种植模式都有利于作物的生长和增产,间作物种选择及栽培方式是关键,品种、种植密度以及种植密度和品种互作均极显著影响青贮玉米生物产量[27-31]。本研究中,统一建植管理模式下品种遗传特性决定了青贮玉米品种中 B1 产量最高,豆科作物品种中 A2 产量最高,间作时,青贮玉米和豆科作物产量均分别较其单作小幅度降低,与 Hauggaard - Nielsen 等结果[32]类似,可能是种植密度增加,种内和种间竞争造成的;和大多间作模式结果一致,间作混合饲草干草总产显著或极显著增加,增产优势来源为豆科作物对青贮玉米的密植效应,禾 - 豆合理密植充分利用了土地、光能、水能等,有利于增产和提高品质[33-34]。3 种豆科作物与同一种青贮玉米间作效果差异较大,四季豆对间作系统总产贡献最大,而拉巴豆对间作青贮玉米产量,尤其是穗产量负面影响较大,这可能主要与豆科作物品种产量、生长期、株型、叶型等遗传特性上差异较大有关,赵建华等在 3 种豆科植物与玉米间作研究中发现,由于豆科作物生物性状和生长期长短差异,与玉米存在时空分异,从而对间作玉米生产力、豆科作物与玉米之间的资源竞争力产生影响[35]。不同品种青贮玉米与同一种豆科作物间作时,B1 间作处理的产量最高但增产幅度最大的为 B3,这可能主要与 3 种青贮玉米自身遗传特性,尤其是熟性和株型差异较大有关,B3 为中熟紧凑型青贮玉米,植株最高,间作时改善了光照及通风条件,更有利于其生长及产量的提高,而 B1 和 B2 分别为中晚熟半紧凑型和中晚熟平散型,多项研究表明,无论是单作还是间作株型紧凑型玉米较平散型玉米均有更强的透光率和更高的光合利用效率,并影响其间作豆科叶片形态和光合特性[36-37]。因此,合理的间作模式,品种选择是关键,除了考虑品种自身生产性能和品质外,还要考虑间作品种间高度、株型、叶型、熟性等能否合理搭配组成一个和谐的能充分利用环境优势的复合群体[38]。

3.3　间作对饲草主要营养成分的影响

营养物质含量是决定青贮玉米饲喂价值的关键因子之一,提高蛋白质、降低纤维素含量是提高牧草营养品质的重要手段[39-40]。在禾本科牧草中间作豆科牧草可有效提高系统整体的营养物质产量和利用率[41],大量研究表明,玉豆间套时,混合饲草粗蛋白、粗脂肪、粗灰分含量较单作的显著增加,中性和酸性洗涤纤维含量与单作青贮玉米相比差异不大[13,23],本研究结果与大多数前人研究结果类似,青贮玉米与豆科作物间作的混合饲草粗蛋白、粗脂肪和粗灰分含量较单作青贮玉米显著或极显著增加,品质得到明显改善。除了豆科植物自身营养价值远高于青贮玉米产生补偿效应外,间作改变了密度以及互作影响也是重要原因,王晓娟等研究发现,不同密度以及密度和品种的互作效应对青贮玉米粗脂肪、中性洗涤纤维和酸性洗涤纤维含量影响较大[31]。本研究中,间作同一种青贮玉米时,拉巴豆间作处理营养指标明显优于与豇豆和四季豆

间作处理,除品种间遗传差异因素外,收获时拉巴豆仍处于营养生长阶段(豇豆与四季豆处于成熟阶段),且叶量较豇豆和四季豆丰富也是重要原因,有研究表明绿叶数与粗蛋白含量呈正相关,豆科牧草粗纤维含量随生长发育增加,豆科生长后期 ADF 含量高于禾本科,可能与牧草生长后期木质素的积累有关[40,42-43]。间作同一豆科作物时,B1 间作处理粗纤维略高于 B2 和 B3 间作,可能与 B1 茎粗显著高于 B2 和 B3 有关[42]。此外,本研究中间作处理干物质降幅较大,可能是不同间作模式影响了作物干物质积累,而拉巴豆间作处理降幅最大,可能是拉巴豆还处于干物质积累较慢的营养生长阶段,张晓娜等研究发现,随生育期的推进,干物质呈“先慢后快”积累的规律[12]。

4　结论

本研究中,青贮玉米与豆科作物间作其农艺性状有所改变,间作模式饲草产量以及营养品质较单作均得到大幅度提升,提高了土地利用率以及经济效益。其中,拉巴豆对间作饲草营养品质及消化率的提升效果最佳,四季豆对间作总产量贡献最大;而青贮玉米品种中,B1 产量高、品质较好、株型半紧凑,最适宜与参试豆科间作。综合比较分析各间作处理产量、营养品质和土地利用率等因素,“川单青贮 1 号”青贮玉米 ‖ “新选小五叶”豇豆,即 A1B1 是最适宜在四川农区及类似生态区推广种植的间作模式,其次是 A2B1 模式。

参考文献:

[1]Moore J E,Undersander D J. Relative forage Quality:an alternative to relative feed value and quality index[J]. Proceedings 13th Annual Florida Ruminant Nutrition Symposium,2002:16-32.

[2]Johnson L,Harrison J H,Hunt C,et al. Nutritive value of corn silage as affected by maturity and mechanical processing:a contemporary review[J]. Journal of Dairy Science,1999,82(12):2813-2825.

[3]彭滟茹,周　锋,何晓波,等. 间混作豆科牧草对青贮玉米产量及氮肥利用的影响[J]. 江苏农业科学,2022,50(12):180-188.

[4]王英成,芦光新,邓　晖,等. 基于主成分分析的青贮玉米品种农艺性状评价及筛选研究[J]. 草地学报,2019,27(6):1725-1732.

[5]刘颖慧,郭　明,贾树利,等. 影响青贮玉米品质因素研究进展[J]. 作物杂志,2018(2):6-10.

[6]段震宇,王　婷,桑志勤,等. 不同栽培模式下青贮玉米的农艺性状[J]. 草业科学,2018,35(4):891-899.

[7]董志晓,何润濠,况鉴洋,等. 成都平原甜高粱间作拉巴豆对混合饲草产量及品质的影响[J]. 草地学报,2021,29(7):1578-1583.

[8]黄宗昌,师尚礼,汪　睿,等. 不同饲草作物间作模式对地上生物量及竞争力的影响[J]. 草业科学,2020,37(11):2284-2292.

[9]付学鹏,吴凤芝,周新刚. 间作防控作物土传病害的机理研究进展[J]. 江苏农业科学,2016,44(1):16-20.

[10]侯慧芝,张绪成,汤瑛芳,等. 半干旱区全膜覆盖垄沟种植马铃薯/蚕豆间作的产量和水分效应[J]. 草业学报,2016,25(6):71-80.

[11]代会会. 豆科间作和地表覆盖对作物生长和土壤养分的影响研究[D]. 上海:上海大学,2015:7-10.

[12]张晓娜,陈　平,庞　婷,等. 玉米/豆科间作种植模式对作物干物质积累、分配及产量的影响[J]. 四川农业大学学报,2017,35(4):484-490.

[13]李亚娇,马培杰,吴佳海,等. 不同品种青贮玉米与拉巴豆套种对青贮玉米农艺性状及产量的影响[J]. 草业学报,2019,28(9):209-216.

[14]甘肃农业大学草原系. 草原学与牧草学实习实验指导书[M]. 兰州:甘肃科学技术出版社,1991.

[15]马　璠,吴发启,马　波,等. 叶面积和降雨强度对玉米茎秆流量的影响[J]. 农业工程学报,2008,24(10):25-28.

[16]张丽英. 饲料分析及饲料质量检测技术[M]. 3 版. 北京:中国农业大学出版社,2007.

[17]唐晨阳,魏臻武,江　舟,等. 行比对不同豆禾间作模式产量与品质的影响[J]. 草地学报,2020,28(1):214-220.

[18]滕辉升,张述宽,陈天渊,等. 青贮玉米生物产量与主要农艺性状的相关和通径分析[J]. 作物杂志,2007(5):48-50.

[19]刘建宁,石永红,吴欣明,等. 晋中盆地 15 个青贮玉米品种生产性能及营养价值评价[J]. 草地学报,2020,28(4):1043-1049.

[20]刘　晓,王　博,朱晓艳,等. 21 个粮饲兼用型青贮玉米在河南的品种比较试验[J]. 草业学报,2019,28(8):49-60.

[21]李德锋,姜义宝,付　楠,等. 青贮玉米品种比较试验[J]. 草地学报,2013,21(3):612-617.

[22]刘忠宽,曹卫东,秦文利,等. 玉米-紫花苜蓿间作模式与效应研究[J]. 草业学报,2009,18(6):158-163.

[23]田应学,马培杰,李亚娇,等. 青贮玉米与拉巴豆套种对青贮玉米品质及产量的影响[J]. 草业科学,2019,36(5):1457-1465.

[24]孟凡凡,王　博,刘宝泉,等. 玉米-大豆带状间作下玉米品种产量和主要农艺性状比较分析[J]. 作物杂志,2014(3):101-105.

[25]苏天增,侯乐新,张玉强,等. 青贮玉米高产群体生理特性及其对密度的响应[J]. 华北农学报,2019,34(2):132-137.

[26]柳斌辉,赵海明,游永亮,等. 海河平原区引进青贮玉米品种的生产性能及适应性评价[J]. 草地学报,2016,24(3):632-641.

[27]王秋媛. 不同株型玉米对套作甘薯光合生理特性及产量的影响[D]. 重庆:西南大学,2015:3-5.

[28]唐明明,董　楠,包兴国,等. 西北地区不同间套作模式养分吸收利用及其对产量优势的影响[J]. 中国农业大学学报,2015,20(5):48-56.

[29]赵雅姣,刘晓静,童长春,等. 紫花苜蓿/玉米间作对紫花苜蓿结瘤固氮特性的影响[J]. 草业学报,2020,29(1):95-105.

[30]朱亚琼,关正翾,郑　伟,等. 混播种类和群体结构对豆禾牧草混播系统氮素利用效率的影响[J]. 草业学报, 2018,27(10):

沈志豪,刘金江,张建洋. 基于改进 YOLOX - s 的田间麦穗检测及计数[J]. 江苏农业科学,2023,51(12):164 - 171.
doi:10.15889/j.issn.1002 - 1302.2023.12.023

基于改进 YOLOX - s 的田间麦穗检测及计数

沈志豪[1], 刘金江[2], 张建洋[2]
(1.南阳师范学院生命科学与农业工程学院,河南南阳 473000; 2.南阳师范学院计算机科学与技术学院,河南南阳 473000)

摘要:麦穗检测与计数关乎小麦的产量预估与育种,估算小麦产量的重要指标之一就是单位面积穗数,如何准确检测单位面积穗数对于农业生产管理决策有着重要的指导作用。因此本研究提出了基于改进的 YOLOX - s 的田间麦穗检测方法对麦穗进行精准识别与计数。首先,选取多个国家的不同品种小麦图像,使用图像增强、数据清洗等方法建立全球小麦图像数据集。其次,在 YOLOX - s 的基础上根据麦穗图像的特点,重新设计了特征提取网络的深度,同时加入注意力机制,充分提取麦穗特征。将 SPP 模块替换为 SPPF 模块,在提升推理速度的同时,不降低模型性能。通过全球小麦图像数据集进行模型训练,并使用实地拍摄的麦田图像对模型进行测试。试验结果表明:通过全球小麦图像数据集的训练,改进的 YOLOX - s 网络模型的 mAP 达到了 89.03%,精确度达到了 91.21%。在实拍的麦田图像中,计数准确率达到了 97.93%,平均单幅图像计数为 0.194 s,单株小麦识别速度为 2.8 ms,检测速度较 YOLOX - s 提升 30.2%,计数速度优异,麦穗定位准确。

关键词:YOLOX - s;麦穗计数;轻量级;卷积神经网络;注意力机制;Soft NMS
中图分类号:S126 **文献标志码:**A **文章编号:**1002 - 1302(2023)12 - 0164 - 08

我国自古以来重视农业发展,我国也是粮食产量大国,产粮量稳居世界榜首,2018 年我国水稻、小麦、玉米三大谷物自给率保持在 98% 以上,足以证明小麦是我国重要的粮食作物之一,在农业发展中有着举足轻重的地位。因此,如果可以给出更加准确的小麦产量预估,那么将会为农业的生产管理提供更好的参考价值。小麦产量预估主要有 3 个参数,分别是千粒质量、单位面积穗数以及单穗粒数[1],对于单位面积穗数的统计,可分为 2 个方法:一是人工进行麦穗计数,结果较为准确,但是人力资源开销大,费时费力;二是利用遥感图像或大范

收稿日期:2022 - 08 - 14
基金项目:教育部人文社会科学研究一般项目(编号:19C10481026);河南省重点研发与推广专项(编号:192102310457)。
作者简介:沈志豪(1998—),男,河南平顶山人,硕士研究生,研究方向为图像处理。E - mail:2020086000050@nynu.edu.cn。
通信作者:刘金江,硕士,教授,研究方向为图像大数据。E - mail:nytc@sina.com。

1 - 14.
[31]王晓娟,何海军,寇思荣,等. 种植密度对不同品种青贮玉米生物产量和品质的影响[J]. 草业科学,2019,36(1):169 - 177.
[32]Hauggaard - Nielsen H, Jensen E S. Evaluating pea and barley cultivars for complementarity in intercropping at different levels of soil N availability[J]. Field Crops Research,2001,72(3):185 - 196.
[33]张吉旺,胡昌浩,王空军,等. 种植密度对全株玉米饲用营养价值的影响[J]. 中国农业科学,2005,38(6):1126 - 1131.
[34]刘天学,王振河,董朋飞,等. 玉米间作系统的生理生态效应研究进展[J]. 玉米科学,2007,15(5):114 - 116,124.
[35]赵建华,孙建好,陈亮之. 三种豆科作物与玉米间作对玉米生产力和种间竞争的影响[J]. 草业学报,2020,29(1):86 - 94.
[36]郭 江,郭新宇,王纪华,等. 不同株型玉米光响应曲线的特征参数研究[J]. 西北植物学报,2005,25(8):1612 - 1617.
[37]王 竹,杨文钰,吴其林. 玉/豆套作荫蔽对大豆光合特性与产量的影响[J]. 作物学报,2007,33(9):1502 - 1507.
[38]李伟忠. 混播方式对青贮玉米生理特性及产质量的影响[D]. 哈尔滨:东北农业大学,2006:2.
[39]席杰军,梁子栋,张钰靖,等. 陕西关中地区 31 个青贮玉米品种比较试验[J]. 草地学报,2018,26(6):1363 - 1367.
[40]潘伟彬,陈志彤,陈 恩,等. 5 个热带豆科牧草洗涤纤维的生育期动态及其施肥响应[J]. 草地学报,2008,16(6):652 - 658.
[41]张桂国,杨在宾,董树亭. 苜蓿 + 玉米间作系统饲料生产潜力的评定[J]. 草业学报,2011,20(2):117 - 126.
[42]孙 震,苗福泓,付丹丹,等. 鲁西南地区青贮专用玉米品种适应性及其营养品质研究[J]. 青岛农业大学学报(自然科学版),2018,35(1):16 - 21,39,2.
[43]苟文龙,李 平,张建波,等. 多花黑麦草 + 箭筈豌豆混播草地地上生物量和营养品质动态研究[J]. 草地学报,2019,27(2):473 - 481.