

# 大麦马铃薯间作模式对大麦苗抗氧化酶活性的影响

赵塔<sup>1,2</sup> 杨丽娥<sup>2</sup> 杨晓梦<sup>2</sup> 普晓英<sup>2</sup> 李霞<sup>2</sup>  
官秀娇<sup>1,2</sup> 杨砚斌<sup>1,2</sup> 杨加珍<sup>2</sup> 和习琼<sup>3</sup> 曾亚文<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup> 云南大学资源植物研究院, 昆明 650504; <sup>2</sup> 云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所, 昆明 650205;

<sup>3</sup> 云南省丽江市农业科学研究所, 丽江 674100)

**摘要:**为探究间作对分蘖期大麦苗抗氧化酶活性的影响,以64个云南大麦品种(系)与紫色马铃薯间作,大麦单作为对照,揭示分蘖期大麦苗不同种植模式、不同棱型、不同用途类型间的大麦苗4个抗氧化酶活性的差异。结果表明,间作模式下大麦SOD(1609.31U/g)、CAT(159.16U/g)、POD(334.70U/g)、PPO(102.30U/g)活性显著高于单作,且单作、间作下不同品种间4个抗氧化酶活性水平均存在差异;不同棱型间大麦苗抗氧化酶活性表现为间作模式下二棱大麦抗氧化酶活性最高,单作模式下多棱大麦抗氧化酶活性最低;不同类型大麦间作模式下啤酒大麦品种抗氧化酶活性最高,青稞品种次之,饲料大麦品种抗氧化酶活性最低。用隶属函数法对间作模式下大麦抗氧化性综合评价,初步筛选出云啤麦MF20-5、宽颖大麦、MF20-16等抗氧化性综合评价前10的品种(系),作为与马铃薯间作下抗氧化性强的云南大麦品种(系)。

**关键词:**间作;大麦;抗氧化酶;棱型;用途类型;分蘖期

## Effect of Intercropping Pattern of Barley and Potato on Antioxidant Enzymes Activity in Barley Seedling

ZHAO Ta<sup>1,2</sup>, YANG Li'e<sup>2</sup>, YANG Xiaomeng<sup>2</sup>, PU Xiaoying<sup>2</sup>, LI Xia<sup>2</sup>, GUAN Xiujiao<sup>1,2</sup>,  
YANG Yanbin<sup>1,2</sup>, YANG Jiazhen<sup>2</sup>, HE Xiqiong<sup>3</sup>, ZENG Yawen<sup>1,2</sup>

(<sup>1</sup>Institute of Resource Plants, Yunnan University, Kunming 650504; <sup>2</sup>Institute of Biotechnology and Germplasm Resources, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205; <sup>3</sup>Lijiang Institute of Agricultural Sciences, Lijiang 674100, Yunnan)

大麦(*Hordeum vulgare* L.)属于禾本科作物,具有耐盐碱、耐干旱、耐贫瘠、适应性广、分蘖力强等特点<sup>[1-2]</sup>。作为重要的饲用和酿造原料,大麦不仅有多种生物活性和保健功能<sup>[3-5]</sup>,而且是酶类物质种类和酶活力较高的谷物之一<sup>[6]</sup>,抗氧化酶在大麦的生长发育、抗病和抗胁迫等方面起到重要的调节作用<sup>[7]</sup>。麦苗内较高的抗氧化酶类物质可以有效清除植物受环境胁迫而积累的有害氧自由基<sup>[8]</sup>,抗氧化酶系统主要包括超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、多酚氧化酶(PPO)

等。而这些抗氧化酶往往与植物体次级代谢物的合成有关,如POD和PPO在酚类物质的合成和分解代谢过程中起着重要的作用<sup>[6]</sup>。因此,分析大麦幼苗抗氧化酶活性对大麦产量及品质保证具有重要意义。

云南属于青藏高原延伸的低纬高原,是发展大麦及其麦苗生产生态条件最好的地区之一<sup>[9]</sup>,但存在大麦良种缺乏,平均单产较低等问题<sup>[10]</sup>。而作物之间配套种植可以提高资源利用率、增加作物生物产量以及经济效益<sup>[11]</sup>,还可以控制或减轻某些病虫害的发生<sup>[12]</sup>、改变作物成分及含量<sup>[13]</sup>、控制杂草生长<sup>[14]</sup>等。大麦和马铃薯具有相似的生态适应性,研究大麦—马铃薯间作体系可为缓解大麦原料短缺或

杨丽娥为共同第一作者

**基金项目:**国家重点研发计划项目(2022YFD1100402);现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-05-01A-04)

**通信作者:**曾亚文

功能大麦开发起到积极的作用,保障两种作物产业的发展<sup>[15]</sup>。间套作模式下,作物间对水、肥、光、热资源产生竞争机制,作物体内抗氧化酶系统将作出相应的改变。研究发现,玉米—大豆间作模式下玉米抗氧化酶活性显著提高,根系抗氧化能力提高,生理活动能力强<sup>[16]</sup>;生姜—葡萄立体间作模式下生姜叶片中抗氧化酶活性显著提高,可以缓解夏季生姜受到的强光胁迫,降低叶片灼伤率<sup>[17]</sup>。

目前,关于作物叶片抗氧化酶活性的研究大多是在胁迫条件下进行,且主要集中于小麦、水稻、玉米等作物<sup>[18]</sup>。李玉贤等<sup>[15]</sup>已对大麦马铃薯套作进行相关研究,但麦薯间作下对大麦抗氧化酶活性影

响的研究还未见报道。本研究选用64个云南大麦品种(系)为试验材料,对不同种植模式、不同棱型和用途类型分蘖期大麦苗SOD、CAT、POD以及PPO活性进行比较,分别探究间作—单作、二棱—多棱和啤酒大麦—饲料大麦—青稞之间分蘖期大麦苗抗氧化酶活性的差异,筛选与马铃薯间作条件下抗氧化性强的云南大麦品种(系),以期为培育间作模式下抗氧化能力强的大麦新品种提供种质资源。

1 材料与方法

1.1 试验材料 供试材料为64个云南大麦优良品种(系)(表1),由云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所选育或收集,根据棱型分为二棱大麦

表1 64份云南大麦优良品种(系)

序号	名称	用途类型	棱型	序号	名称	用途类型	棱型
1	云啤9号	啤酒大麦	二棱	33	云啤麦 MF19-4	啤酒大麦	二棱
2	云啤10号	啤酒大麦	二棱	34	云啤麦 MF20-1	啤酒大麦	二棱
3	云啤11号	啤酒大麦	二棱	35	云啤麦 MF20-5	啤酒大麦	二棱
4	矮思秆4	啤酒大麦	二棱	36	云功麦3号	青稞	二棱
5	云啤7号	啤酒大麦	二棱	37	哈铁系裸退化二棱	青稞	二棱
6	云啤5号	啤酒大麦	二棱	38	宽颖大麦	青稞	二棱
7	盐麦2号	啤酒大麦	二棱	39	MF20-16	啤酒大麦	二棱
8	澳选3号	啤酒大麦	二棱	40	云饲麦4号	饲料大麦	多棱
9	云啤2号	啤酒大麦	二棱	41	云饲麦7号	饲料大麦	多棱
10	云啤4号	啤酒大麦	二棱	42	云饲麦8号	饲料大麦	多棱
11	浙云1号	啤酒大麦	二棱	43	云饲麦9号	饲料大麦	多棱
12	昆啤2号	啤酒大麦	二棱	44	云饲麦10号	饲料大麦	多棱
13	云啤12号	啤酒大麦	二棱	45	云饲麦11号	饲料大麦	多棱
14	云啤14号	啤酒大麦	二棱	46	云饲麦12号	饲料大麦	多棱
15	云玉麦1号	啤酒大麦	二棱	47	云饲麦13号	饲料大麦	多棱
16	云啤15号	啤酒大麦	二棱	48	云饲麦14号	饲料大麦	多棱
17	云靖麦2号	啤酒大麦	二棱	49	V43	饲料大麦	多棱
18	云啤17号	啤酒大麦	二棱	50	云饲麦16号	饲料大麦	多棱
19	云啤18号	啤酒大麦	二棱	51	云饲麦 MF19-21	饲料大麦	多棱
20	云啤20号	啤酒大麦	二棱	52	云饲麦 MF20-29	饲料大麦	多棱
21	腾云麦4号	啤酒大麦	二棱	53	云稞4号	青稞	多棱
22	云啤21号	啤酒大麦	二棱	54	云稞1号	青稞	多棱
23	云啤22号	啤酒大麦	二棱	55	云饲麦1号	饲料大麦	多棱
24	云啤3号	啤酒大麦	二棱	56	云饲麦2号	饲料大麦	多棱
25	昆啤4号	啤酒大麦	二棱	57	云饲麦3号	饲料大麦	多棱
26	矮思82秆1	啤酒大麦	二棱	58	云稞 MF17-28	青稞	多棱
27	云啤24号	啤酒大麦	二棱	59	云稞 MF17-32	青稞	多棱
28	云功麦1号	啤酒大麦	二棱	60	云稞 18MF19-32	青稞	多棱
29	云功麦2号	啤酒大麦	二棱	61	MF20-25	饲料大麦	多棱
30	矮思500	啤酒大麦	二棱	62	MF20-31	饲料大麦	多棱
31	云文麦6号	啤酒大麦	二棱	63	MF21-30	青稞	多棱
32	云啤 MF18-13	啤酒大麦	二棱	64	MF21-32	青稞	多棱

39份、多棱大麦25份;根据用途类型分为啤酒大麦36份、饲料大麦18份、青稞10份。所选用的马铃薯品种为丽江市农业科学研究所选育的高花青素含量的紫色中晚熟马铃薯品种(编号:12H11-3)。

**1.2 试验设计** 试验地点位于昆明市盘龙区滇源镇南营村试验基地(海拔1973m),试验地土壤类型为红壤土,其理化性质为:pH值6.25,有机质含量25.3%,全氮含量1.81%,全磷含量1.47%,碱解氮含量102.31mg/kg,有效磷含量14.32mg/kg,速效钾含量147.13mg/kg。地势平坦,肥力均匀,茬口一致,无遮阴,排灌良好,田间水肥按大田正常管理。

种植方式:试验采用单因素完全随机设计,以大麦单作为对照,利用64个不同大麦品种与马铃薯进行间作,即大麦单作和大麦—马铃薯间作。(1)大麦—马铃薯间作,马铃薯起垄种植,垄宽0.5m,垄间距为0.3m,马铃薯株距为0.24m;每个小区种植1个大麦品种,行数2行,行长1.44m,行间距0.25m,面积0.36m<sup>2</sup>,不同品种大麦小区前后间距为0.24m;马铃薯垄间种植大麦。(2)大麦单作:其种植规格同间作。大麦与马铃薯于2023年1月4-5日同期播种,大麦播种量为150粒/行。

### 1.3 样品采集与测定

**1.3.1 样品采集** 于分蘖期对每个小区选取标记植株3株,分别采集新鲜大麦苗,分装入冻存管中,管壁做标记后立即存放在-80℃低温冰箱中备用。

**1.3.2 样品测定及方法** 大麦苗的POD、CAT、SOD和PPO活性分别使用POD、CAT、SOD和PPO检测试剂盒(由南京建成生物工程研究所提供)测定,仪器为美国生产的多功能酶标仪(型号:BioTeK Synergy<sup>TM</sup> HT)。各酶活性测定均按试剂盒步骤,依次配置所需试剂,SOD活性在450nm处测定,CAT活性在405nm处测定,POD活性在420nm处测定,PPO活性在420nm处测定。根据试剂盒上的公式进行相关计算,试验数据均为3次重复的平均值。

**1.4 数据分析** 采用Excel 2016和SPSS 26.0软件进行数据整理分析;隶属函数值计算方法参照张会丽等<sup>[19]</sup>的方法,具体如下。

(1)当指标性状值与抗氧化性呈正相关时:

$$\bar{X}_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}}$$

(2)当指标性状值与抗氧化性呈负相关时:

$$\bar{X}_{ij} = 1 - \frac{X_{ij} - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}}$$

(3)总隶属函数的计算:

$$\bar{X}_i = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \bar{X}_{ij}$$

式中, $i$ :某个品种; $j$ :某个性状; $n$ :指标性状数量; $\bar{X}_{ij}$ 为隶属函数值; $X_{ij}$ 为性状值; $X_{j\min}$ 为性状最小值; $X_{j\max}$ 为性状最大值; $\bar{X}_i$ 为品种抗氧化隶属函数平均值。把每个品种的各个性状具体抗氧化隶属函数值累加后求平均值,平均值越大,抗氧化性则越强。

## 2 结果与分析

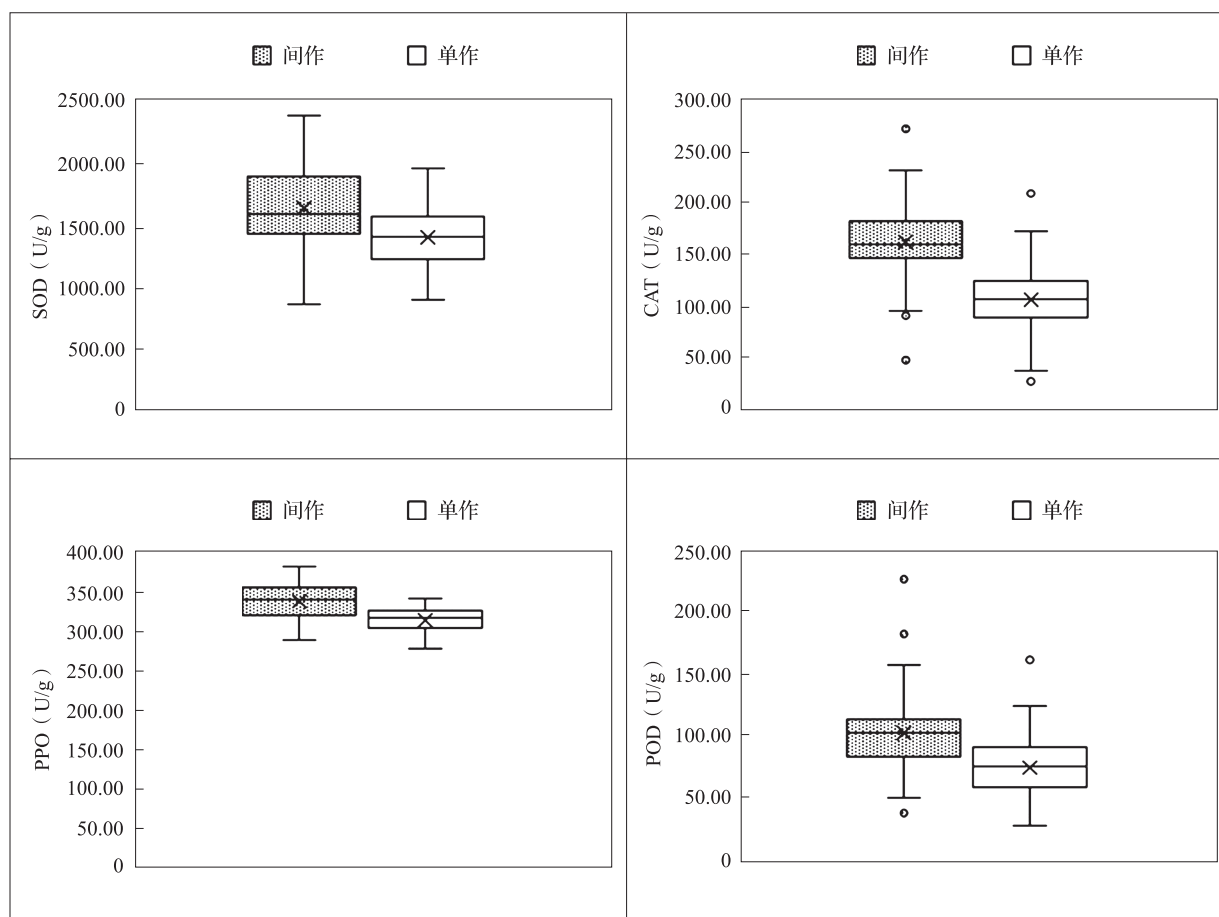
**2.1 不同种植模式大麦苗抗氧化酶活性差异** 如表2所示,不同种植模式对大麦苗抗氧化酶活性有显著影响( $P<0.05$ )。结果表明,64个大麦品种(系)大麦苗SOD、CAT、POD、PPO活性呈现出间作高于单作的普遍趋势(图1),且差异达到显著水平。例如间作模式下云啤17号大麦苗的SOD酶活性显著上升了41.34%;云啤18号大麦苗的CAT酶活性显著上升了75.35%;云啤麦MF20-5大麦苗的PPO酶活性显著上升了21.74%;云啤17号大麦苗的POD酶活性显著上升了54.89%。

此外,不同品种在相同模式下抗氧化酶活性均存在广泛的差异。其中,单作时MF20-16 SOD活性最高为1931.60U/g,云饲麦4号活性最低为866.68U/g,两者相差2.23倍;间作时云啤麦MF20-5 SOD活性最高为2359.63U/g,云饲麦8号活性最低为828.63U/g,两者相差2.85倍。单作时云啤18MF19-32 CAT活性最高为206.43U/g,V43 CAT活性最低为23.18U/g,两者相差8.91倍;间作时MF20-16 CAT活性最高为269.61U/g,云饲麦4号CAT活性最低为43.88U/g,两者相差6.14倍。单作时浙云1号POD活性最高为338.00U/g,云饲麦9号活性最低为273.00U/g,两者相差1.24倍;间作时云啤麦MF20-5 POD活性最高为379.50U/g,云饲麦8号活性最低为284.00U/g,两者相差1.34倍。单作时浙云1号PPO活性最高为161.40U/g,云饲麦10号活性最低为27.00U/g,两者相差5.98倍;间作时云啤12号PPO活性最高为227.00U/g,云饲麦11号活性最低为37.00U/g,两者相差6.14倍。说明

表 2 不同种植模式大麦苗抗氧化酶活性

成分	种植模式	平均值	变幅	变异系数 CV (%)
超氧化物歧化酶 SOD (U/g)	单作	1371.38 ± 238.59b	866.68~1931.60	17.40
	间作	1609.31 ± 371.36a	828.63~2359.63	23.10
过氧化氢酶 CAT (U/g)	单作	102.75 ± 35.10b	23.18~206.43	34.16
	间作	159.16 ± 36.50a	43.88~269.61	22.93
过氧化物酶 POD (U/g)	单作	309.98 ± 14.77b	273.00~338.00	4.76
	间作	334.70 ± 24.78a	284.00~379.50	7.40
多酚氧化酶 PPO (U/g)	单作	74.05 ± 25.47b	27.00~161.40	34.39
	间作	102.30 ± 34.30a	37.00~227.00	33.53

同列不同小写字母表示在 0.05 水平上有显著差异,下同



箱体中“—”为中位数,“×”为平均值,下同

图 1 不同种植模式下大麦苗抗氧化酶箱形图

不同品种(系)大麦抗氧化酶活性差异较大。

**2.2 不同棱型大麦苗抗氧化酶活性差异** 试验结果表明(表 3),不同棱型大麦苗 SOD、POD 和 PPO 活性水平差异显著,相同种植模式下二棱大麦苗的 SOD、POD 和 PPO 平均活性显著高于多棱;SOD 和 PPO 活性呈现出二棱间作 > 二棱单作 > 多棱间作 > 多棱单作的趋势,POD 则表现为二棱间

作 > 多棱间作 > 二棱单作 > 多棱单作。相同种植方式下二棱大麦苗的 CAT 活性高于多棱,但差异不显著,间作二棱大麦酶活性最高(165.05U/g),单作多棱大麦酶活性最低(94.17U/g)。总体来看,不同棱型大麦苗抗氧化酶活性表现为间作二棱大麦抗氧化酶活性最高,单作多棱大麦抗氧化酶活性最低(图 2)。



表 3 不同棱型大麦苗抗氧化酶活性

棱型	种植模式	超氧化物歧化酶 SOD (U/g)		过氧化氢酶 CAT (U/g)		过氧化物酶 POD (U/g)		多酚氧化酶 PPO (U/g)	
		平均值	变异系数 CV (%)	平均值	变异系数 CV (%)	平均值	变异系数 CV (%)	平均值	变异系数 CV (%)
二棱	单作	1486.95 ± 188.77b	12.70	108.24 ± 29.67b	27.41	316.59 ± 10.77c	3.40	87.07 ± 20.84b	23.93
	间作	1706.60 ± 357.39a	20.94	165.05 ± 33.86a	20.51	341.27 ± 20.68a	6.06	116.97 ± 32.69a	27.95
多棱	单作	1191.09 ± 193.49c	16.24	94.17 ± 41.41b	43.97	299.68 ± 14.39d	4.80	53.75 ± 17.61c	32.77
	间作	1457.54 ± 348.10b	23.88	149.97 ± 39.22a	26.15	324.46 ± 27.48b	8.47	79.43 ± 22.40b	28.20

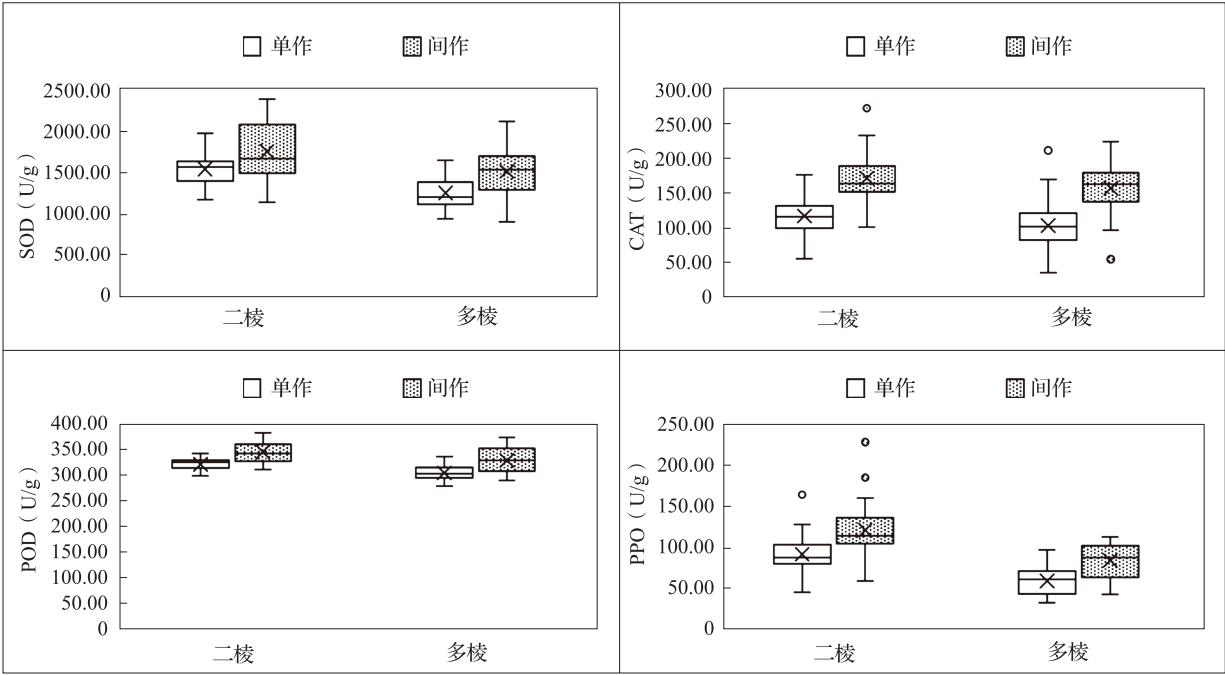


图 2 不同棱型大麦苗抗氧化酶活性箱形图

**2.3 不同用途类型大麦苗抗氧化酶活性差异** 将供试大麦按用途类型分为啤酒大麦、饲料大麦及青稞,结果表明(表 4),不同用途类型大麦 SOD 活性水平差异显著,相同种植模式下饲料大麦 SOD 活性显著低于啤酒大麦和青稞,啤酒大麦和青稞 SOD 活性水平差异不显著;其中,间作啤酒大麦 SOD 活性含量最高(1715.47U/g),单作饲料大麦 SOD 活性含量最低(1130.02U/g),不同种植方式下 SOD 活性表现出间作啤酒大麦 > 间作青稞 > 单作啤酒大麦 > 间作饲料大麦 > 单作青稞 > 单作饲料大麦。

不同用途类型大麦 PPO 活性差异显著,相同种植方式下啤酒大麦 PPO 活性显著高于饲料大麦和青稞,且啤酒大麦、饲料大麦和青稞间差异均达到显著水平;间作啤酒大麦 PPO 活性最高(118.89U/g),单作饲料大麦 PPO 活性最低(46.91U/g),两者相差

2.53 倍;不同种植方式下 PPO 活性表现出间作啤酒大麦 > 间作青稞 > 单作啤酒大麦 > 间作饲料大麦 > 单作青稞 > 单作饲料大麦。

不同用途类型大麦 CAT、POD 活性差异不显著;其中,间作青稞 CAT 活性最高(168.87U/g),单作饲料大麦 CAT 活性最低(89.24U/g),两者相差 1.89 倍;间作啤酒大麦 POD 活性含量最高(341.04U/g),单作饲料大麦 POD 活性含量最低(296.00U/g),两者相差 1.15 倍;不同种植方式下 CAT 活性表现出间作青稞 > 间作啤酒大麦 > 间作饲料大麦 > 单作青稞 > 单作啤酒大麦 > 单作饲料大麦;POD 活性表现出间作啤酒大麦 > 间作青稞 > 间作饲料大麦 > 单作啤酒大麦 > 单作青稞 > 单作饲料大麦。整体来看,不同类型大麦间作时啤酒大麦品种抗氧化酶活性最高,青稞品种次之,饲料大麦品种抗氧化酶活性最低(图 3)。

表 4 不同用途类型大麦苗抗氧化酶活性

类型	种植模式	超氧化物歧化酶 SOD (U/g)		过氧化氢酶 CAT (U/g)		过氧化物酶 POD (U/g)		多酚氧化酶 PPO (U/g)	
		平均值	变异系数 CV (%)	平均值	变异系数 CV (%)	平均值	变异系数 CV (%)	平均值	变异系数 CV (%)
啤酒大麦	单作	1492.59 ± 193.65bc	12.97	107.42 ± 29.79c	27.73	316.92 ± 10.73bc	3.39	88.46 ± 20.97b	23.70
	间作	1715.47 ± 365.09a	21.28	164.61 ± 35.22ab	21.40	341.04 ± 21.31a	6.25	118.89 ± 32.17a	27.06
饲料大麦	单作	1130.02 ± 140.47d	12.43	89.24 ± 38.80c	43.48	296.00 ± 14.36d	4.85	46.91 ± 14.53d	30.97
	间作	1392.22 ± 350.67c	25.19	142.85 ± 40.83b	28.58	323.56 ± 27.17bc	8.40	72.06 ± 21.73c	30.16
青稞	单作	1369.48 ± 200.22c	14.62	110.22 ± 42.60c	38.65	310.20 ± 10.28c	3.31	71.03 ± 10.83c	15.25
	间作	1617.88 ± 278.14ab	17.19	168.87 ± 24.42a	14.46	331.95 ± 26.86ab	8.09	97.03 ± 18.95b	19.53

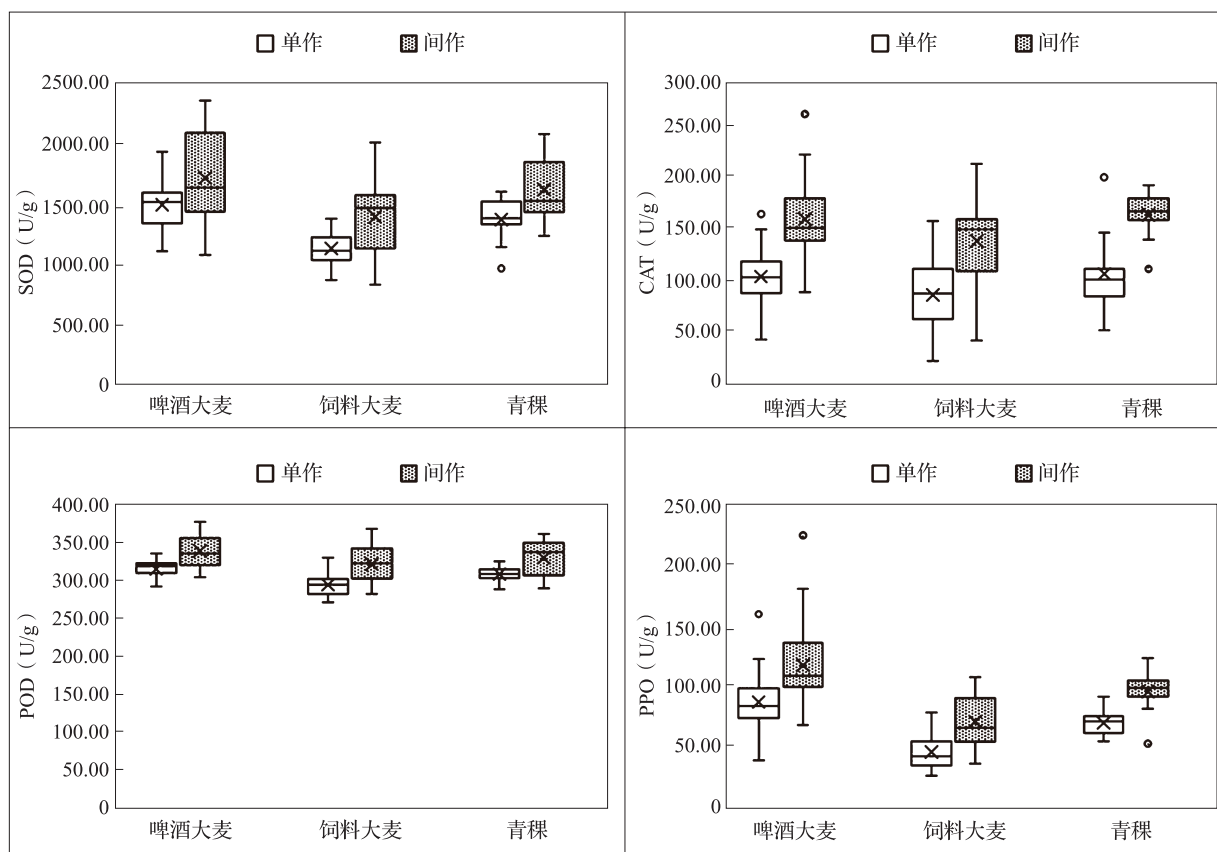


图 3 不同用途类型大麦苗抗氧化酶活性箱形图

**2.4 不同种植模式大麦苗抗氧化酶活性相关性分析** 相关性分析结果显示(表 5),相同种植模式下抗氧化酶活性相关性趋势一致。单作种植模式下 SOD 与 CAT、POD、PPO 活性呈极显著正相关关系,CAT 活性和 PPO 活性呈正相关,相关性不显著。间作种植模式下除 CAT 活性与 PPO 活性呈显著正相关外,其他均呈极显著正相关。相关性分析结果表明抗氧化酶活性之间相互影响,说明各抗氧化酶共同作用,以响应外界环境的变化,进而保护植物免受氧化应激,并维持正常生长发育。

## 2.5 间作种植模式下大麦品种抗氧化性综合评价

对间作种植模式下 64 份大麦品种(系)进行隶属函数值计算,筛选出了抗氧化能力较优的 10 个大麦品种(表 6)。

## 3 讨论

影响植物抗氧化酶活性的主要因素有基因型和外部环境,基因型决定其内在品质,而外部环境主要有生长、种植条件以及气候等<sup>[6]</sup>。外部环境改变时,植物体内的防御系统会通过协同抗氧化酶,维持自由基产生与清除的动态平衡,而较高的

表 5 不同种植模式大麦品种抗氧化酶活性相关性分析

指标	单作				间作			
	SOD	CAT	POD	PPO	SOD	CAT	POD	PPO
SOD	1				1			
CAT	0.412**	1			0.742**	1		
POD	0.496**	0.373**	1		0.372**	0.515**	1	
PPO	0.588**	0.129	0.525**	1	0.528**	0.257*	0.331**	1

\*, \*\* 分别表示在 0.05、0.01 水平上显著、极显著相关

表 6 间作种植下大麦品种的综合抗氧化隶属函数值(综合前 10)

名称	棱型	用途类型	SOD	CAT	POD	PPO	隶属函数值	排序
云啤麦 MF20-5	二棱	啤酒大麦	1.000	0.753	1.000	0.404	0.789	1
宽颖大麦	二棱	青稞	0.840	0.711	0.822	0.779	0.788	2
MF20-16	二棱	啤酒大麦	0.989	1.000	0.749	0.384	0.780	3
MF21-32	多棱	青稞	0.817	0.801	0.639	0.853	0.777	4
云啤 12 号	二棱	啤酒大麦	0.818	0.491	0.623	1.000	0.733	5
云啤 17 号	二棱	啤酒大麦	0.946	0.768	0.550	0.634	0.724	6
云饲麦 MF19-21	多棱	饲料大麦	0.771	0.572	0.906	0.618	0.717	7
云啤麦 MF19-4	二棱	啤酒大麦	0.863	0.707	0.848	0.375	0.698	8
云啤麦 MF20-1	二棱	啤酒大麦	0.904	0.821	0.660	0.371	0.689	9
云啤 14 号	二棱	啤酒大麦	0.867	0.447	0.613	0.766	0.673	10

抗氧化酶活性可以增强大麦植株抵抗外界胁迫的能力<sup>[20]</sup>。

研究发现,间作体系中由于作物基因型不同、高低不等、受热受光不均,导致两种作物在生长过程中存在光热资源的竞争<sup>[21]</sup>。本研究中,马铃薯间作大麦诱导了分蘖期大麦 SOD、CAT、POD、PPO 活性水平显著升高,这与 Assadi 等<sup>[22]</sup>对大麦鹰嘴豆间作、杨娜娜等<sup>[23]</sup>对燕麦马铃薯间作研究结果一致。大麦—马铃薯间作系统中存在地上部光热水气资源以及地下部大麦—马铃薯根系间营养、水分的资源竞争<sup>[24-25]</sup>。说明间作种植时可对大麦造成氧化胁迫,从而造成大麦苗活性氧数量增加。大麦苗在外界环境改变时进行胁迫保护,体内的抗氧化酶活性随之变化。

大麦根据穗的棱型可分为二棱和多棱,不同棱型大麦品种的生长规律、代谢特点存在明显差异<sup>[26]</sup>,二棱大麦农艺性状<sup>[27]</sup>、营养成分含量<sup>[28]</sup>优于多棱。王美琦等<sup>[29]</sup>对二棱大麦材料进行抗氧化能力综合评价,发现大麦种质间的抗氧化性存在显著差异。有研究表明,多棱大麦多为春大麦,宜播期在 3-4 月,而二棱大麦多为冬大麦,宜播期在 11 月至

翌年 1 月左右<sup>[30]</sup>。本研究发现二棱大麦在不同种植模式下抗氧化酶活性都高于多棱,这可能与播种季节及二棱大麦抗性有关,其具体机制需要进一步研究。

酚类化合物在植物体内积累有助于植物适应强紫外线辐射、温度极端变化和其他非生物胁迫的恶劣环境<sup>[31]</sup>,也是大麦中的主要生物活性成分之一,会直接影响大麦芽和麦汁的品质,进而会影响成品啤酒的色泽、风味和非生物稳定性<sup>[32]</sup>。本研究表明,啤酒大麦抗氧化酶活性高于青稞和饲料大麦,而抗氧化酶 POD 和 PPO 在酚类物质的合成和分解代谢过程中起着重要的作用。此外,有研究表明,啤酒大麦根系发达,具有极强的分蘖性,表现出更好的抗旱和丰产稳产能力<sup>[33]</sup>。青稞由于其特殊的分布环境,使得其具有较好的适应高原恶劣环境的遗传基础,在激素信号转导、抗病性和次生代谢合成等方面优于普通大麦<sup>[34-35]</sup>,这与本研究中青稞抗氧化酶活性高于一般饲料大麦的结论相呼应。

4 结论

本研究通过马铃薯—大麦间作试验,发现间作

时分蘖期大麦苗抗氧化酶活性显著高于单作;间作二棱大麦抗氧化酶活性最高,单作多棱大麦抗氧化酶活性最低;间作时啤酒大麦品种抗氧化酶活性最高,青稞品种次之,饲料大麦品种抗氧化酶活性最低;大麦苗各抗氧化酶活性具有协同作用。综合考虑,用隶属函数法对间作大麦苗抗氧化性综合评价,初步筛选出云啤麦 MF20-5、宽颖大麦、MF20-16 等抗氧化综合评价前 10 的品种(系),作为最适宜与马铃薯间作且抗氧化性强的云南大麦品种(系)。

### 参考文献

- [1] 李金鹏,翁颖,田梦杰,曹新农,苏慧,唐秀巧,庄腾飞,胡澍韬,宋有洪. 麦苗营养价值研究进展. 麦类作物学报,2021,41(9): 1105-1115
- [2] 毛正贵. 大麦再生力利用一两用栽培法初探. 四川农业科技,1994(4): 13-14
- [3] Gul S, Ahmed S, Kifli N, Uddin Q T, Tahir N B, Hussain A, Jaafar H Z, Moga M, Zia-Ul-Haq M. Multiple pathways are responsible for Anti-inflammatory and Cardiovascular activities of *Hordeum vulgare* L. . Journal of Translational Medicine, 2014, 12(1): 316
- [4] Kim H W, Shin M S, Lee J S, Park H R, Jee H S, Yoon T J, Shin K S. Signaling pathways associated with macrophage-activating polysaccharides purified from fermented barley. International Journal of Biological Macromolecules, 2019, 131: 1084-1091
- [5] Zhang J Y, Xiao X, Dong Y, Shi L N, Xu T, Wu F. The anti-obesity effect of fermented barley extracts with *Lactobacillus plantarum* dy-1 and *Saccharomyces cerevisiae* in diet-induced obese rats. Food and Function, 2017, 8(3): 1132-1143
- [6] 杨燕萍,孔维宝,陆健. 不同品种啤酒大麦间游离酚类化合物及其相关酶类的研究. 啤酒科技,2013(4): 32-40
- [7] 刘纹纹,孔娜,刘双,王晓,董红敬,耿伟. 麦芽的化学成分及功能活性研究进展. 食品与药品,2023,25(4): 384-390
- [8] 史国安,付国占,刘丰明. 种衣剂对小麦幼苗膜脂过氧化及某些酶活性的影响. 麦类作物学报,1997(4): 65-67
- [9] 曾亚文,张京,普晓英,杜娟,杨树明,杨涛. 云南大麦产业发展综合研究与利用. 浙江农业学报,2011,23(3): 455-464
- [10] 谢芹芳,杨兆春,冯怀斯,邵宗福. 云南腾冲多品种啤饲大麦的种植特性与产量表现. 中国农技推广,2020,36(4): 27-30
- [11] 李彩虹,吴伯志. 玉米间套作种植方式研究综述. 玉米科学,2005(2): 85-89
- [12] 王玉堂. 作物巧间作胜过施农药—作物优化配植 20 法. 农村经济与科技,2001(11): 18
- [13] Rao B R R. Biomass yield, essential oil yield and essential oil composition of rose-scented geranium (*Pelargonium species*) as influenced by row spacings and intercropping with cornmint (*Mentha arvensis* L. f. *pipescens* Malin. ex Holmes). Industrial Crops and Products, 2002, 16(2): 133-144
- [14] Banik P, Midya A, Sarkar B K, Ghose S S. Wheat and chickpea intercropping systems in an additive series experiment: Advantages and weed smothering. European Journal of Agronomy, 2006, 24(4): 325-332
- [15] 李玉贤,杨树明,曾亚文,杨涛,普晓英,杜娟,李本逊. 大麦—马铃薯套作对大麦生物产量和籽粒功能成分的影响. 云南农业大学学报:自然科学版,2012,27(6): 783-788
- [16] 杨雪丽,吴吉英子,刘凡,刘旭东,任俊波,杜青,陈平,雍太文. 大豆品种对间作玉米苗期根系生长及抗氧化特性的影响. 四川农业大学学报,2021,39(1): 11-18
- [17] 彭慧敏,马佳伟,李港,蔡小东,王显凤,尹军良,刘奕清,朱永兴. 生姜—葡萄立体间作模式对生姜夏季的生长、光合及抗氧化酶的影响. 山东农业大学学报:自然科学版,2023,54(2): 159-165
- [18] 德木其格,刘志萍,郭呈宇,吕二锁,巴图,王磊,王金波,齐海祥,徐寿军. 氮肥对大麦灌浆期叶片抗氧化酶活性的影响. 内蒙古民族大学学报:自然科学版,2019,34(4): 350-356
- [19] 张会丽,许兴,朱林. 利用隶属函数法对玉米成熟期抗旱性的综合评价. 玉米科学,2017,25(4): 32-39
- [20] 谢晓红. 植物抗氧化酶系统研究进展. 化工管理,2015(32): 99-100
- [21] 王小林,徐伟洲,张雄,张岁岐. 黄土塬区夏玉米物质生产及水分利用对品种间作竞争的响应. 中国生态农业学报,2018,26(3): 377-387
- [22] Assadi N M, Bijanzadeh E. Influence of relay intercropping of barley with chickpea on biochemical characteristics and yield under water stress. PLoS One, 2023, 18(6): e0273272
- [23] 杨娜娜,吴娜,刘吉利,杨亚亚,贺锦红,蔡明,祁立中,张佩. 间作模式对马铃薯叶片保护酶活性及产量的影响. 干旱地区农业研究,2019,37(6): 138-144
- [24] Zhang W, Ahanbieke P, Wang B J, Gan Y W, Li L H, Christie P, Li L. Temporal and spatial distribution of roots as affected by interspecific interactions in a young walnut/wheat alley cropping system in northwest China. Agroforestry Systems, 2015, 89(2): 327-343
- [25] 柴强,黄高宝. 间套种植对根系土壤酶及养分复合系统的影响研究. 农业系统科学与综合研究,2004(3): 208-211
- [26] 张小燕,张跃进,潘高峰. 日本不同棱型大麦种质资源农艺性状的差异. 麦类作物学报,2006,26(6): 38-41
- [27] 卢映吉,杨晓梦,普晓英,李霞,杨丽娥,杨砚斌,曾亚文. 不同季节播种和割苗对大麦优良品种农艺性状的影响. 作物杂志,2023(3): 215-220
- [28] 杨砚斌,杨晓梦,卢映吉,赵塔,普晓英,李霞,杨丽娥,黄斌全,曾亚文. 播种季节和割苗期对大麦苗营养成分的影响. 麦类作物学报,2023,43(8): 1013-1019
- [29] 王美琦,刘志萍,王金波,齐海祥,王海泽,王文迪,门秀丽,宋俊良,李建波,徐寿军. 二棱大麦种质资源抗氧化能力的筛选鉴定. 内蒙古民族大学学报:自然科学版,2021,36(4): 339-344
- [30] 卢映吉. 不同季节播种和割苗期对大麦农艺性状和营养功能成分的影响. 昆明:云南大学,2022



DOI: 10.19462/j.cnki.zgzy.20231218004

# 辽北地区顶凌播种条件下藜麦品种筛选试验研究

韩彦龙 姜 薇 吴 昊 邹凤宇 张 艳

(辽宁省铁岭市农业科学院,铁岭 112616)

**摘要:**以 16 个藜麦引选品种(系)作为研究材料,在顶凌播种条件下,通过对 16 个材料的生育期、主要农艺性状及产量进行调查分析,探究顶凌播种技术在辽北地区的可行性,并筛选出适合辽北地区种植的藜麦品种。试验结果表明:顶凌播种条件下,铁岭市农业科学院自选品种(系) TL3 产量表现最好,可达 194kg/667m<sup>2</sup>,其次为 TL2 和津藜 1 号,以上 3 个品种(系)较适合在辽北地区种植;陇 3、陇 5、陇 7 和 2403 这 4 个品种(系)表现较差,陇 1 和陇 2 虽产量表现较好,但生育期偏长,种植风险较大,因此以上 6 个品种(系)不适宜在辽北地区种植;4712、2831、2837、307、744 和 77 在试验中产量及各农艺性状表现居中,TL6 产量居第 4 位,生育期偏长,在辽北地区的具体应用有待于进一步研究。由以上试验结果可得,顶凌播种技术能够作为辽北地区藜麦种植增产增效的有效措施。

**关键词:**藜麦;顶凌播种;农艺性状;辽北地区

## Experimental Study on Screening of 16 Quinoa Varieties under Dingling Seeding Conditions in Northern Liaoning

HAN Yanlong, JIANG Wei, WU Hao, ZHOU Fengyu, ZHANG Yan

(Tieling Academy of Agricultural Sciences, Tieling 112616, Liaoning)

藜麦(*Chenopodium quinoa*)是一年生双子叶藜科植物,其蛋白质含量可高达 16%~22%,是一种纯天然的碱性食物,在其营养品质方面,可与奶粉、肉类相媲美<sup>[1-2]</sup>。联合国粮农组织认为,藜麦能够满足

人体基本营养需求,并将其列为最适宜人类的“全营养食品”<sup>[3-4]</sup>。此外,国内外的许多研究表明,藜麦具有良好的抗旱、抗寒、耐盐碱等特性,并具有良好的生态适应性<sup>[5-6]</sup>。

辽宁省属于温带大陆性季风气候区,干旱灾害具备显著的季节性和区域性特征,尤其是春旱、夏旱对农业生产的危害最为严重。干旱发生时会导致

**基金项目:**辽宁省科学技术计划项目-应用基础研究计划(2022JH2/101300181)

**通信作者:**张艳

[31] Han Z G, Zhang J J, Cai S G, Chen X H, Quan X Y, Zhang G P. Association mapping for total polyphenol content, total flavonoid content and antioxidant activity in barley. BMC Genomics, 2018, 19 (1): 81

[32] 杨燕萍. 啤酒大麦和麦芽中的酚类物质及其抗氧化特性研究. 兰州:甘肃农业大学, 2010

[33] 再生斌,蔡立群. 干旱胁迫对不同基因型啤酒大麦品种(系)生长发育的影响. 甘肃农业科技, 2017 (5): 28-33

[34] Zeng X Q, Long H, Wang Z, Zhao S C, Tang Y W, Huang Z Y, Wang Y L, Xu Q J, Mao L K, Deng G B, Yao X M, Li X F, Bai L J, Yuan H J,

Pan Z F, Liu R J, Chen X, Wang Mu Q M, Chen M, Yu L L, Liang J J, Dun Zhu D W, Zheng Y, Yu S Y, Luo Bu Z X, Guang X M, Li J, Deng C, Hu W S, Chen C H, Ta Ba X N, Gao L Y, Lv X D, Abu Y B, Fang X D, Nevo E, Yu M Q, Wang J, Tashi N. The draft genome of Tibetan hulless barley reveals adaptive patterns to the high stressful Tibetan plateau. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2015, 112 (4): 1095-1100

[35] Moza J, Gujral H S. Starch digestibility and bioactivity of high altitude hulless barley. Food Chemistry, 2016, 194: 561-568

(收稿日期: 2024-01-04)