

不同季节播种对大麦苗粉及籽粒营养成分的影响

杨砚斌^{1,2,3}, 杨晓梦^{2,3}, 普晓英^{2,3}, 李霞^{2,3}, 杨丽娥^{2,3}, 卢映吉^{1,2,3}, 曾亚文^{2,3}

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

³云南省农业生物技术重点实验室, 昆明 650205)

摘要: 为研究不同季节播种对大麦苗粉和籽粒营养成分含量的影响, 探索优质两用型功能大麦高效生产技术。以 48 份云南大麦优良品种(系)为材料, 连续两年进行四季(春、夏、秋、冬)播种, 使用分光光度法和凯氏定氮法测定不同季节播种大麦苗粉与籽粒总黄酮、 γ -氨基丁酸、生物碱和蛋白质含量的差异以及分析苗粉和籽粒营养成分间的相关性。结果表明, 不同年份不同季节播种对大麦苗粉和籽粒的营养功能成分积累有显著影响, 苗粉 4 种营养成分平均含量均表现为秋播>冬播>春播>夏播; 籽粒表现为冬播>秋播; 总体来看, 苗粉营养成分比籽粒要高。各营养成分受播种季节的影响较大, 呈现出播种季节>品种>品种×播种季节的趋势。初步筛选出优异两用型大麦品种(矮思秆 4、腾云麦 4 号和云啤 22 号)。

关键词: 大麦; 苗粉; 籽粒; 播种季节; 营养成分; 相关分析

Nutritional Functional Components of Barley Grass Powder and Grains Harvested from Different Sowing Seasons

YANG Yan-bin^{1,2,3}, YANG Xiao-meng^{2,3}, PU Xiao-ying^{2,3}, LI Xia^{2,3}, YANG Li-e^{2,3},
LU Ying-ji^{1,2,3}, ZENG Ya-wen^{2,3}

(¹Institute of Resources and Plants, Yunnan University, Kunming 650504;

²Biotechnology and Germplasm Resources Institute, Yunnan Academy of Agricultural Sciences, Kunming 650205;

³Yunnan Provincial Key Laboratory of Agricultural Biotechnology, Kunming 650205)

Abstract: In order to study the effect of sowing in different seasons on the content of nutritional functional components in barley grass powder and grains, and to explore the high-efficient production technology of high-quality dual-purpose barley, 48 barley varieties (lines) from Yunnan province were sown in four seasons (spring, summer, autumn and winter) for two consecutive years. The samples harvested were subjected to measure the contents of total flavones, GABA, alkaloids and proteins by spectrophotometry and Kjeldahl method, followed by the correlation analysis on the nutrient function components between barley grass powder and grains. The results showed that samples harvested from different years and seasons showed a significant difference on the accumulation of nutritional functional components in barley grass powder and grains. The average contents of the four nutritional functional components (total flavones, GABA, alkaloids and proteins) in grass powder were autumn sowing > winter sowing > spring sowing > summer sowing. These components in grains from winter sowing season were higher than those in grains from autumn sowing season. In general, the nutritional functional components of grass powder was higher than those of the grains. The nutrient functional components were greatly

收稿日期: 2022-08-29 修回日期: 2022-11-09 网络出版日期: 2022-12-06

URL: <https://doi.org/10.13430/j.cnki.jpgr.20220829001>

第一作者研究方向为大麦选育与栽培, E-mail: 15198939396@163.com; 杨晓梦为共同第一作者

通信作者: 曾亚文, 研究方向为大麦遗传育种, E-mail: zengyw1967@126.com

基金项目: 云南省基础研究计划项目面上项目(202201AT070126); 云南省农业生物技术重点实验室开放项目(2020); 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-05-01A-04)

Foundation projects: Basic Research Plan of Yunnan Province (202201AT070126); Open Project of Yunnan Provincial Key Laboratory of Agricultural Biotechnology (2020); The Special Fund for the Construction of Modern Agricultural Industrial Technology System(CARS-05-01A-04)

affected by the sowing season, showing the trend of sowing season > varieties > varieties × sowing season. As a result, excellent dual-purpose barley varieties (Aisi 4, Tengyun 4 and Yunpi 22) were preliminarily selected.

Key words: barley; grass powder; grains; sowing season; nutritional functional components; correlation analysis

大麦(*Hordeum vulgare* L.)是用途非常广泛的药食同源谷类作物,主要用于酿造、饲用、食用、医学、造纸和编织及功能食品等领域。大麦苗粉是在大麦生长的初期将大麦 15~30 cm 的鲜嫩芽茎采摘下来,采用割青、清洗、杀青、干燥、粉碎等加工工艺制成的粉末^[1]。大麦苗粉中含有丰富的蛋白质、维生素、叶绿素、矿物质、粗纤维等营养成分以及黄酮、生物碱、 γ -氨基丁酸和超氧化物歧化酶等功能成分,有助于改善睡眠质量、增强免疫力、提高记忆力、排毒养颜、缓解疲劳、促进伤口愈合、解毒、抗氧化和抗抑郁,具有很高的药用价值和预防保健功能^[2-5]。据研究报道,大麦苗粉中的 35 种营养成分可以预防 20 种慢性病^[2];大麦籽粒中 32 种营养成分可预防 14 种慢性病^[6]。大麦苗粉蛋白质含量是大麦籽粒的 1.9 倍^[7]。黄酮类化合物具有抑制 α -葡萄糖苷酶作用,可减缓小肠中单糖生成速度,阻止餐后血糖的异常升高^[8]。此外,经割苗处理能降低大麦株高,防止群体倒伏,且大麦苗期分蘖力强,幼苗刈割后残茎可再生苗、可正常收获籽粒^[9]。

云南属青藏高原延伸的低纬高原,具有复杂多

样的生态环境,是全国发展大麦和麦苗生产生态条件最好的地区之一^[10]。目前,对大麦苗粉和籽粒营养成分在季节生态间的变化规律尚不明确,且不同季节播种对大麦苗粉和籽粒营养成分积累的研究较少。本研究以云南省选育的 48 个大麦优良品种(系)为试验材料,对连续两年四季种植的大麦苗粉和籽粒的主要营养成分含量进行测定及差异分析,初步揭示不同年份、季节对大麦苗粉和籽粒营养功能性成分的影响以及遗传变化规律的认识;挖掘适合麦苗、籽粒生产两用型大麦品种,为云南省选择合适的麦苗、籽粒两用型品种提供必要的理论参考和科学依据,也对预防相关慢性病的发生具有重要意义。

1 材料与方法

1.1 试验材料

供试材料(表 1)为 48 个云南大麦优良品种(系),由云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所选育并提供的啤酒大麦、饲料大麦及其青稞品种。其中 35 个已完成国家非主要农作物品种登记,其余品种处于申报测试阶段。

表 1 供试材料

Table 1 Test material

序号 Code	名称 Name	组合 Combination	序号 Code	名称 Name	组合 Combination
1	云啤 9 号	澳选 3 号×曲 152	14	云稞 4 号	玖格×8640-1
2	云啤 10 号	S500×Clipper	15	浙云 1 号	花 30×红日啤麦二号
3	云啤 11 号	宽颖大麦///S500//S500/S500,BC ₂ F ₇	16	昆啤 2 号	BARI143
4	云饲麦 1 号	8640-1×黄长光大麦	17	云饲麦 4 号	8640-1×G061S040T
5	云饲麦 2 号	8640-1×G061S035T	18	云啤 12 号	S500×Z195U034V
6	云饲麦 3 号	8640-1×G061S089T	19	云啤 14 号	Z010J045J×澳选 1 号
7	矮思秆 4	ARUPO/K8755//MORA/3/ARUPO/K8755/ MORACBSS95MOO243S-12M-2Y-OM	20	云玉麦 1 号	Z023Q041R×S500
8	云啤 7 号	Z043R053S	21	云稞 1 号	保山地方种系选
9	云啤 5 号	澳选 1 号×甘啤 3 号	22	云啤 15 号	BARI293×S500
10	盐麦 2 号	(81-037/3/76M 选 162/74-7209// 盐辐矮早三)/如东 8072	23	云靖麦 2 号	BARI213×保大麦 6 号
11	澳选 3 号	Schooner	24	云啤 17 号	S500×甘啤 5 号
12	云啤 2 号	澳选 3 号×S500	25	云饲麦 7 号	V43×G039N056N-2
13	云啤 4 号	澳选 3 号×哈林顿	26	云饲麦 8 号	8640-1×G118E005F

表1(续)

序号 Code	名称 Name	组合 Combination	序号 Code	名称 Name	组合 Combination
27	云啤18号	07YD-8×青稞	38	云饲麦14号	保大麦8号×G231M004M
28	云啤20号	Z012L031L×曲173	39	昆啤4号	07YD-8×澳选2号
29	腾云麦4号	S500×苏啤4号	40	弥82-1	ALELI/3/ARUPO/K8755//MORA/4/ ICAROCBSS96Y00401T-B-14Y-1M-OY
30	云饲麦9号	8640-1×G061S009T	41	云啤24号	07YD-8×云大麦2号
31	云饲麦10号	8640-1×G061S132T	42	云功麦1号	浙皮1号×哈铁系
32	云啤21号	凤大麦6号×云大麦2号	43	云功麦2号	澳选3号×哈铁系
33	云啤22号	弥82-1×BARI293	44	云功麦3号	紫光芒裸二棱×Schooner
34	云饲麦11号	G039N056N-2×V43	45	哈铁系裸退化二棱	—
35	云饲麦12号	V43×G118E005F	46	宽颖大麦	—
36	云啤3号	Clipper×甘啤3号	47	矮思500	—
37	云饲麦13号	G231M004M×保大麦13号	48	V43	—

—:亲本

—:Parent

1.2 试验方法

1.2.1 田间种植 48份大麦材料于2019年11月至2021年8月种植于云南省昆明市盘龙区滇源镇南营村试验基地(海拔1973 m),大麦生育期间试验地温度变化见图1,试验地土壤肥力中等,采用随机区组设计,每份材料种植2行300粒,行长2 m,行距

0.3 m,条播,3次重复,常规田间管理。连续两年进行四季播种,拔节期之前进行割苗,成熟时收获籽粒。两年播种时间均为秋播(11月1日)、冬播(2月1日)、春播(5月1日)、夏播(8月1日)。对每一阶段的材料分批进行晾晒晒干、粉碎、分装、冷冻保存处理。

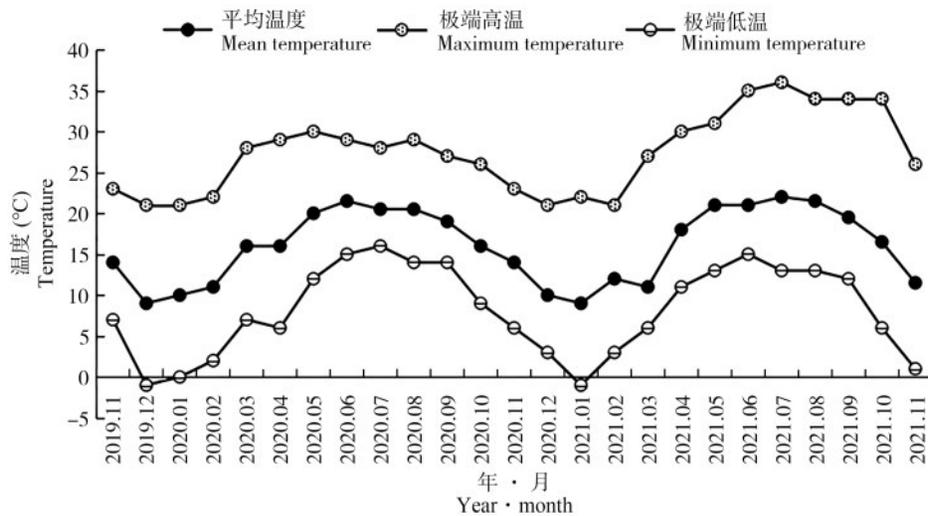


图1 试验基地温度变化

Fig.1 Temperature variation of the test base

1.2.2 营养成分含量测定 在云南省农业科学院生物技术与种质资源研究所重点实验室,分别对各阶段的苗粉和籽粒营养成分(总黄酮、 γ -氨基丁酸、生物碱、蛋白质)进行含量测定,3个生物学重复,取平均值。由于季节差异,收获的试验材料为四季播种的大麦苗粉与割苗后收获的秋、冬播种的籽粒。参照赵春艳等^[11]的方法测定总黄酮含量;采用凯氏定氮法测定蛋白质含量;按文献^[12]测定总生物碱

含量;根据Inatomi等^[13]的方法测定 γ -氨基丁酸含量。

1.2.3 数据统计分析 综合运用Excel 2019、SPSS 26进行数据分析处理,均以测定数据平均值进行各功能成分含量计算以及差异分析。

2 结果与分析

2.1 不同年份间大麦营养成分含量差异

如表2所示,2020年大麦苗粉的总黄酮

(117.57 mg/100g)、 γ -氨基丁酸(153.43 mg/100g)、生物碱(99.57 mg/100g)和蛋白质平均含量(29.61%)均大于2021年。其中,两年间生物碱含量差异达到极显著水平,总黄酮、 γ -氨基丁酸和蛋白质含量差异不显著。无论是2020年还是2021年大麦苗粉的总黄酮(112.57~117.57 mg/100g)、 γ -氨基丁酸(146.64~153.43 mg/100g)、生物碱(86.46~99.57 mg/100g)、蛋白质(28.83%~29.61%)含量均高于或极显著高于对应成分的大麦籽粒总黄酮(101.24~110.60 mg/100g)、 γ -氨基丁酸(97.49~99.35 mg/100g)、生物碱(64.12~

64.67 mg/100g)、蛋白质(14.44%~14.95%)。2020年大麦籽粒的 γ -氨基丁酸(99.35 mg/100g)、生物碱(64.67 mg/100g)和蛋白质平均含量(14.95%)大于2021年的,总黄酮含量则反之;除总黄酮含量外,其他3种大麦籽粒营养成分差异未达到显著水平。表明在相同播种条件下,两年间大麦苗粉和籽粒的4种营养成分含量变化不大;从变幅和变异系数来看,两年的不同品种间大麦苗粉和籽粒营养成分含量变异较大。

表2 不同年份大麦苗粉和籽粒的营养功能成分含量

Table 2 Contents of nutritive functional components in barley grass powder and grains in different years

功能成分 Functional ingredients	年份 Year	苗粉 Grass powder			籽粒 Grains		
		平均值 Mean±SD	变幅 Range	变异系数 (%) CV	平均值 Mean±SD	变幅 Range	变异系数 (%) CV
总黄酮(mg/100g)	2020	117.57±46.03 a	45.26~309.75	39.15	101.24±24.03 b	56.59~165.93	23.73
Total flavonoids	2021	112.57±35.13 a	53.59~223.40	31.21	110.60±26.19 a	64.76~175.52	23.68
γ -氨基丁酸(mg/100g)	2020	153.43±58.66 a	57.28~332.63	38.23	99.35±28.43 a	42.23~203.60	28.62
GABA	2021	146.64±56.07 a	90.69~328.66	38.24	97.49±35.77 a	54.51~205.77	36.70
生物碱(mg/100g)	2020	99.57±16.74 A	51.89~145.31	16.81	64.67±10.47 a	37.88~92.96	16.19
Alkaloid	2021	86.46±21.30 B	37.68~168.67	24.64	64.12±13.30 a	31.35~94.19	20.74
蛋白质(%)	2020	29.61±3.55 a	21.87~36.87	11.99	14.95±2.10 a	10.06~21.07	14.02
Protein	2021	28.83±6.04 a	22.71~49.95	14.63	14.44±2.43 a	10.56~21.76	16.80

不同大、小写字母表示同一功能成分两年间的差异在0.01和0.05水平上显著

Different large, lowercase letters indicate significant difference between two years at the level of 0.01 and 0.05 for the same functional component

2.2 不同季节播种对大麦营养成分含量的影响

2.2.1 不同季节播种大麦苗粉营养成分含量的差异

如表3所示,不同季节播种对48份大麦苗粉营养成分含量有显著影响。两年不同季节播种大麦苗粉总黄酮平均含量均表现为秋播>冬播>春播>夏播,秋播与春播、夏播、冬播差异达到极显著水平;其中,云啤18号苗粉总黄酮含量最高为309.75 mg/100g,云饲麦8号含量最低为45.26 mg/100g,两者相差6.84倍。两年大麦苗粉 γ -氨基丁酸平均含量均表现为秋播>冬播>春播>夏播,秋播与春播、夏播、冬播差异极显著;其中,腾云麦4号 γ -氨基丁酸含量最高(332.63 mg/100g)是最低的昆啤4号(57.28 mg/100g)的5.81倍。两年大麦苗粉生物碱平均含量均表现为秋播>冬播>春播>夏播,秋播与春播、夏播差异极显著,春播和夏播、秋播和冬播差异不显著;其中,云饲麦7号苗粉生物碱含量最高为168.67 mg/100g,云饲麦8号含量最低为37.68 mg/100g,两者相差4.48倍。两年大麦苗粉蛋白质平均含量均表现为秋播>冬播>春播>夏播,其中,秋播与冬播、春播、夏播

差异极显著;其中,云啤15号苗粉蛋白质含量最高(49.95%)是云饲麦4号最低(15.77%)的3.17倍。通过两年的重复试验,48个云南大麦优良品种(系)苗粉的4种营养成分均表现出秋播>冬播>春播>夏播的趋势,说明秋播大麦经历严重的低温霜冻等逆境累积大量的营养成分及延迟播种会降低大麦苗粉营养成分。因此,从苗用型功能大麦生产角度来看,秋季播种育苗营养成分较高。

2.2.2 不同季节播种大麦籽粒营养成分含量的差异

如表4所示,秋播和冬播对48份大麦籽粒营养成分含量有显著影响。两年不同季节播种大麦籽粒总黄酮平均含量表现为冬播>秋播,差异达到显著水平。其中,云功麦1号籽粒总黄酮含量最高为175.52 mg/100g,弥82-1含量最低为56.59 mg/100g,两者相差3.10倍。两年大麦籽粒 γ -氨基丁酸平均含量表现为冬播>秋播,2020年秋、冬播间籽粒 γ -氨基丁酸差异达到显著水平。其中,宽颖大麦籽粒 γ -氨基丁酸含量最高(205.77 mg/100g)是矮思秆4号最低(42.23 mg/100g)的4.87倍。两年大麦籽粒生物碱平均含量表现为冬播>秋播,2020年

秋、冬播籽粒生物碱差异达到显著水平。其中,云玉麦 1 号籽粒生物碱含量最高为 94.12 mg/100g,云饲麦 7 号含量最低为 31.35 mg/100g,两者相差 3.00 倍。两年大麦籽粒蛋白质平均含量表现为冬播>秋播,2021 年秋、冬播籽粒蛋白质差异显著。其中,云啤 10 号籽粒蛋白质含量最高(21.76%)是云啤

20 号最低(10.06%)的 2.16 倍。总体来说,大麦籽粒营养成分平均含量表现为冬播优于秋播,说明适当延迟播种对大麦籽粒生产利用有一定好处。因此,从籽用型功能大麦生产角度来看,冬季播种大麦籽粒营养成分较高。

表 3 不同季节播种大麦苗粉营养成分含量

Table 3 Content of nutrient functional components in barley grass powder in different seasons

功能成分 Functional ingredients	播种季节 Season	2020 年 In 2020			2021 年 In 2021		
		平均值 Mean±SD	变幅 Range	变异系数 (%) CV	平均值 Mean±SD	变幅 Range	变异系数 (%) CV
总黄酮(mg/100g) Total flavonoids	春播	102.85±22.68 C	57.60~157.79	22.05	110.19±25.23 B	53.82~177.31	22.90
	夏播	76.02±18.94 D	45.26~137.22	24.91	74.56±10.26 C	53.59~93.86	13.77
	秋播	161.85±47.70 A	96.38~309.75	29.47	145.55±30.76 A	91.38~215.47	21.13
	冬播	129.54±36.46 B	64.23~192.08	28.15	119.98±26.05 B	84.44~223.40	21.71
γ-氨基丁酸(mg/100g) GABA	春播	135.62±41.09 C	61.71~219.55	30.30	118.49±18.41 C	90.69~203.26	15.54
	夏播	96.85±33.92 D	57.28~177.40	35.02	104.48±4.89 D	96.96~117.16	4.68
	秋播	202.44±58.09 A	122.06~332.63	28.69	234.04±33.94 A	176.74~328.66	14.50
	冬播	178.82±32.65 B	108.80~247.69	18.26	129.56±23.20 B	92.21~191.96	17.91
生物碱(mg/100g) Alkaloid	春播	97.56±16.23 B	58.72~24.94	16.64	79.00±18.92 C	37.68~113.19	23.96
	夏播	90.98±17.20 C	51.89~145.31	18.90	75.30±9.89 C	49.49~89.85	13.21
	秋播	106.80±12.58 A	65.19~132.06	11.78	100.11±16.52 A	71.63~134.66	16.50
	冬播	102.95±16.65 AB	67.32~126.80	16.18	91.43±26.74 B	40.18~168.67	29.25
蛋白质(%) Protein	春播	28.83±3.25 C	22.97~35.64	11.28	27.55±3.22 C	22.71~35.93	11.68
	夏播	26.95±3.25 D	21.87~33.52	12.05	20.97±2.31 D	15.77~25.89	11.03
	秋播	32.66±2.01 A	26.47~36.07	6.16	34.29±3.53 A	30.04~48.83	10.30
	冬播	30.01±2.91 B	24.26~36.87	9.69	32.50±3.35 B	28.46~49.95	10.29

不同字母表示同一年间同一功能成分不同播种季节间的差异在 0.01 水平上显著

Different letters indicated that the difference between different sowing seasons of the same functional component in the same year was significant at the level of 0.01

表 4 不同季节播种大麦籽粒营养成分含量

Table 4 Content of nutrient functional components in barley grains in different seasons

功能成分 Functional ingredients	播种季节 Season	2020 年 In 2020			2021 年 In 2021		
		平均值 Mean±SD	变幅 Range	变异系数 (%) CV	平均值 Mean±SD	变幅 Range	变异系数 (%) CV
总黄酮(mg/100g) Total flavonoids	秋播	91.89±25.74 B	56.59~146.84	28.01	96.23±25.99 B	64.76~169.28	27.01
	冬播	110.60±18.04 A	81.39~165.93	16.32	124.97±17.01 A	87.58~175.52	13.61
γ-氨基丁酸(mg/100g) GABA	秋播	86.65±23.05 B	42.23~139.23	26.61	93.81±33.77 a	54.51~205.77	35.99
	冬播	112.04±27.80 A	61.91~203.60	24.81	101.17±37.65 a	57.36~193.59	37.22
生物碱(mg/100g) Alkaloid	秋播	61.71±5.69 B	51.11~74.66	9.22	61.75±13.67 a	42.00~94.19	22.14
	冬播	67.63±13.09 A	37.88~92.96	19.35	66.49±12.61 a	31.35~87.92	18.97
蛋白质(%) Protein	秋播	14.64±2.06 a	10.06~21.07	14.04	12.81±1.44 B	10.56~17.19	11.24
	冬播	15.26±2.11 a	12.37~20.69	13.85	16.07±2.09 A	13.46~21.76	13.03

不同大小写字母表示同一年间同一功能成分不同播种季节间差异在 0.01 和 0.05 水平上显著

Different uppercase and lowercase letters indicated that the difference between different sowing seasons of the same functional component in the same year was significant at the level of 0.01 and 0.05

2.3 大麦营养成分品种与播种季节的互作效应分析

48 个品种、4 个播种季节、大麦苗粉与籽粒的总

黄酮、γ-氨基丁酸、生物碱、蛋白质的方差分析显示,不同营养成分之间有很大差异(表 5)。大麦苗粉、籽粒的 4 种营养成分播种季节方差均达到

极显著水平;苗粉蛋白质不同品种间,籽粒除生物碱外其他3种营养成分在不同品种间均达到极显著差异。综上所述,品种与环境对大麦苗粉和籽粒的营养功能成分的影响均表现为播种季节>品种

>品种×播种季节。说明大麦苗粉和籽粒的营养功能成分受环境影响较大,其次是品种差异的影响,受品种×播种季节互作的影响最小。

表5 大麦品种和播种季节的互作效应分析

Table 5 Analysis of interaction effects between varieties and sowing season in barley

功能成分 Functional ingredients	品种 Varieties	播种季节 Sowing season	品种×播种季节 Varieties×Sowing season
苗粉 Grass powder	总黄酮	1.28	1.21
	γ-氨基丁酸	0.89	0.52
	生物碱	0.98	0.69
	蛋白质	2.25**	0.66
籽粒 Grains	总黄酮	5.14**	1.88**
	γ-氨基丁酸	2.40**	0.82
	生物碱	0.95	0.59
	蛋白质	3.72**	0.59

**表示在0.01水平上显著差异

** indicated significant difference at the level of 0.01

2.4 功能成分优异的云南大麦品种筛选

综合考虑不同播种季节的大麦苗粉和籽粒营养功能成分,以最佳播种季节(苗粉秋播,籽粒冬播)营养功能成分高于平均值作为两用型大麦择优标准,综合考虑4种营养成分平均值,筛选出矮

思秆4、腾云麦4号和云啤22号,其苗粉和籽粒营养功能成分列于表6,除了云啤22号苗粉γ-氨基丁酸含量明显低于平均值(218.24 mg/100g),其余品种的营养功能成分均较高,适宜用于麦苗和籽粒两用型功能大麦生产。

表6 籽粒和麦苗两用型大麦品种的筛选

Table 6 Identification and selection of dual functional varieties of barley

序号 Code	名称 Name	苗粉 Grass powder				籽粒 Grains			
		总黄酮 (mg/100g) Total flavonoids	γ-氨基丁酸 (mg/100g) GABA	生物碱 (mg/100g) Alkaloid	蛋白质 (%) Protein	总黄酮 (mg/100g) Total flavonoids	γ-氨基丁酸 (mg/100g) GABA	生物碱 (mg/100g) Alkaloid	蛋白质 (%) Protein
1	矮思秆4	224.34	218.47	123.75	36.37	135.46	97.37	76.20	17.41
2	腾云麦4号	159.10	281.65	95.72	33.46	125.02	105.08	73.49	16.25
3	云啤22号	153.14	196.81	109.37	34.23	130.26	127.61	72.95	17.64

3 讨论

大麦苗期进行割苗,可有效提高种植效益^[14],播期、品种及两者间互作效应对大麦干、鲜质量饲草都会产生影响^[15]。不同年份间的大麦苗粉和籽粒营养成分变幅和变异系数均较大,这可能与不同年份大麦生育期内各播种时期的温度、降雨量等气候条件变化密切相关(图1)。11月份至次年2月份为低温时期,且霜降期较长、温差相对较大,有助于大麦苗粉营养成分的积累。相关研究表明,低温环境胁迫能显著增加发芽谷物γ-氨基丁酸含量^[16],大麦和小麦耐低温冷害胁迫能力与γ-氨基丁酸含量密切相关^[17]。本研究在生育期在此阶

段(秋播和冬播)的大麦苗粉γ-氨基丁酸含量较其他播种时期明显高,表明γ-氨基丁酸介导的耐逆境胁迫反应可能是大麦适应低纬高原恶劣环境的另一重要调节方式。2021年5月份至10月份的极端高温明显高于2020年,长时间受到高温胁迫,在一定程度上会降低麦苗品质,降低苗粉营养成分,这与王树林等^[18]的结论相似。

播种时期的差异实质上是生态条件的差异,因此大麦籽粒的品质性状也会发生变化^[19]。研究表明,季节变化和气候条件显著影响作物生长和产量^[20],不同播种季节不同大麦品种的麦苗生长进程和籽粒成熟程度不一致,营养成分的含量受品种遗传和栽培环境互作影响^[21]。云南属低纬高原

秋播大麦生产区,本研究中秋播大麦苗粉的营养功能成分明显优于其他播种季节,表明延迟播种季节会降低苗粉营养成分,这与 Hussain 等^[22]种植季节对所有测量变量影响显著的结论一致。本研究大麦籽粒功能成分受季节影响情况与麦苗呈现结果相反,冬播大麦籽粒功能成分含量更高,说明适当延迟播种对大麦籽粒营养成分的积累有一定促进作用,这与卢映吉^[23]结论相同。不同年份秋、冬播种的大麦籽粒营养成分差异显著性趋势不一致,这可能与植物次生代谢物的形成和积累与各环境因子息息相关,并且这些因子之间彼此相互促进、相互制约,这种交互作用对次生代谢物的影响极其复杂^[24]。有关冬播大麦籽粒营养成分高于秋播的原因有待后续的研究进行探索验证。不同品种的大麦营养成分变幅和变异系数均较大,说明4种营养成分受品种、播种季节和栽培环境差异的共同影响。大多数作物的品质性状均受环境和遗传因素的共同影响^[25]。本研究中大麦品种和播种季节的互作效应表明环境对大麦营养成分的影响较大,因此可在多种生态环境下种植,为选育适应不同环境下种植的大麦高功能成分新品种奠定理论基础。

4 结论

不同季节播种对云南大麦苗粉和籽粒的营养功能成分积累有显著影响,且不同年份间的大麦苗粉和籽粒营养成分存在差异。从总体趋势看,大麦苗粉营养成分平均含量均表现为秋播>冬播>春播>夏播;籽粒表现为冬播>秋播。此外,大麦苗粉营养成分比籽粒要高。各营养成分受播种季节影响较大,品种×播种季节互作的影响最小。通过综合比较,以生产功能性大麦苗粉和籽粒产品角度考虑,初步筛选出优异两用型云南大麦品种矮思秆4、腾云麦4号和云啤22号。为初步构建云南大麦青稞秋季播种、冬季割苗、夏季收粮的功能食品及功能青饲的生产模式提供参考。

参考文献

- [1] 王伟,刘春泉,刘春菊,李大婧,李建军. 大麦若叶苗粉研究进展. 食品工业科技, 2017, 38 (3): 395-399
Wang W, Liu C Q, Liu C Y, Li D J, Li J J. Research progress of barley leaf seedling powder. Science and Technology of Food Industry, 2017, 38 (3): 395-399
- [2] Zeng Y W, Pu X Y, Yang J Z, Du J, Yang X M, Li X, Li L, Zhou Y, Yang T. Preventive and therapeutic role of functional ingredients of barley grass for chronic diseases in human beings. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2018, 2018: 1-15
- [3] Kim H, Hong H D, Shin K S. Structure elucidation of an immunostimulatory arabinoxylan-type polysaccharide prepared from young barley leaves (*Hordeum vulgare* L.). Carbohydrate Polymers, 2017, 157: 282-293
- [4] Choe J H, Jang A, Choi J H, Choi Y S, Han D J, Kim H Y, Lee M A, Kim H W, Kim C J. Antioxidant activities of lotus leaves (*Nelumbo nucifera*) and barley leaves (*Hordeum vulgare*) extracts. Food Science Biotechnol, 2010, 19 (3): 831-836
- [5] 郑慧敏,王军. 大麦苗的营养价值及应用. 大麦与谷类科学, 2017, 34 (2): 20-22, 27
Zheng H M, Wang J. Nutritive value and application of barley seedlings. Barley and Cereal Science, 2017, 34 (2): 20-22, 27
- [6] Zeng Y W, Pu X Y, Du J, Yang X M, Li X, Yang T, Yang J Z. Molecular mechanism of functional ingredients in barley to combat human chronic diseases. Oxidative Medicine and Cellular Longevity, 2020, 2020: 1-26
- [7] 辛培尧,普晓英,杜娟,杨涛,曾亚文. 大麦籽粒和苗粉蛋白质含量的检测. 麦类作物学报, 2016, 31 (1): 58-61
Xin P Y, Pu X Y, Du J, Yang T, Zeng Y W. Determination of protein content in barley grain and seedling meal. Journal of Triticeae Crops, 2016, 31 (1): 58-61
- [8] Krauss S, Zhang C Y, Scorrano L, Dalgaard L T, Stpierre J, Grey S T, Lowell B B. Superoxide-mediated activation of uncoupling protein 2 causes pancreatic β cell dysfunction. Journal of Clinical Investigation, 2003, 112 (12): 1831-1842
- [9] 许如根,郭三红,吕超,王小丽. 不同冬割方式对大麦主要性状的影响. 江苏农业科学, 2007 (3): 157-160
Xu R G, Guo S H, Lv C, Wang X L. Effects of different winter cutting methods on main traits of barley. Jiangsu Agricultural Sciences, 2007 (3): 157-160
- [10] 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
Zeng Y W, Zhang J, Pu X Y, Du J, Yang S M, Yang T. Comprehensive study and utilization of barley industry development in Yunnan. Zhejiang Journal of Agricultural Sciences, 2011, 23 (3): 455-464
- [11] 赵春艳,普晓英,曾亚文,杜娟,杨树明,陈红明. 大麦麦芽总黄酮类化合物含量的测定分析. 植物遗传资源学报, 2010, 11 (4): 498-502
Zhao C Y, Pu X Y, Zeng Y W, Du J, Yang S M, Chen H M. Determination and analysis of total flavonoids in barley malt. Journal of Plant Genetic Resources, 2010, 11 (4): 498-502
- [12] 韩淑云,韩长日. 海南红厚壳中生物碱的提取与含量测定. 应用化工, 2010, 39 (9): 1419-1431
Han S Y, Han C R. Extraction and determination of alkaloids from red thick shell of Hainan. Application of Chemical, 2010, 39 (9): 1419-1431
- [13] Inatomi K, Slaughter J C. Glutamate decarboxylase from barley embryos and roots. General properties and the occurrence of three enzymic forms. Biochemical Journal, 1975, 147 (3): 479-484

- [14] 郑国利,刘虹丹,徐俊,姚远,李春燕,丁锦峰,朱敏,郭文善,朱新开.大麦小麦若叶产品生产现状与发展对策探讨.农产品加工, 2021(17):87-91,95
Zheng G L, Liu H D, Xu J, Yao Y, Li C Y, Ding J F, Zhu M, Guo W S, Zhu X K. Discussion on production status and development countermeasures of barley and wheat leaf products. Farm Products Processing, 2021(17):87-91,95
- [15] 陈晓东,赵斌,王瑞,朱斌,季昌好.播期对不同品种大麦饲草及籽粒产量和品质的影响.华北农学报, 2021, 36(S1): 130-135
Chen X D, Zhao B, Wang R, Zhu B, Ji C H. Effects of sowing date on forage yield and grain quality of different barley varieties. Acta Agriculturae Boreali-sinica, 2021, 36(S1):130-135
- [16] Kinnersley A M, Tu rano F J. Gamma aminobutyric acid (GABA) and plant responses to stress. Critical Reviews in Plant Sciences, 2000,19(6):479 -509
- [17] Mazzucotelli E, Tartari A, Cattivelli L, Forlani G. Metabolism of gamma-aminobutyric acid during cold acclimation and freezing and its relationship to frost tolerance in barley and wheat. Journal of Experimental Botany, 2006, 57 (14) : 3755-3766
- [18] 王树林,王国平,王燕,张谦,冯国艺,雷晓鹏,林永增,梁青龙.不同年份小麦匀播与播种量对麦棉套作小麦产量构成的影响.山西农业大学学报:自然科学版, 2017,37(5):305-311
Wang S L, Wang G P, Wang Y, Zhang Q, Feng G Y, Lei X P, Lin Y Z, Liang Q L. Effects of uniform sowing and sowing amount of wheat in different years on wheat yield composition with cotton sleeve. Journal of Shanxi Agricultural University: Natural Science Edition, 2017,37(5):305-311
- [19] Guo T C, Feng W, Zhao H J. Photosynthetic characteristics of flag leaves and nitrogen effects in two winter wheat cultivars with different spike type. Plant and Soil, 2010 (2): 89-92
- [20] Samejima H, Katsura K, Kikuta M, Njinju S M, Kimani J M, Yamauchi A, Makihara D. Analysis of rice yield response to various cropping seasons to develop optimal cropping calendars in Mwea, Kenya. Plant Production Science, 2020, 23 (3) : 297-305
- [21] 杜娟,曾亚文,普晓英,杨涛,杨晓梦,杨树明.不同割苗期对大麦籽粒及麦苗功能性成分的影响.云南大学学报:自然科学版, 2014,36(3):446-454
Du J, Zeng Y W, Pu X Y, Yang T, Yang X M, Yang S M. Effects of different cutting stages on functional components of barley grain and grass powder. Journal of Yunnan University: Natural Science Edition, 2014,36(3):446-454
- [22] Hussain A, Zahir Z A, Ditta A, Tahir M U, Ahmad M, Mumtaz M Z, Hayat K, Hussain S. Production and implication of bio-activated organic fertilizer enriched with zinc-solubilizing bacteria to boost up maize (*Zea mays* L.) production and biofortification under two cropping seasons. Agronomy, 2019,10(1):39-39
- [23] 卢映吉.不同季节播种和割苗期对大麦农艺性状和营养成分的影响.昆明:云南大学, 2022
Lu Y J. Effects of sowing and seedling cutting in different seasons on agronomic traits and nutritional components of barley. Kunming: Yunnan University, 2022
- [24] 师砚首.环境变化对三叶青次生代谢物和抗氧化活性的影响.杭州:浙江大学, 2019
Shi Y S. Effects of environmental changes on secondary metabolites and antioxidant activities of *Cyanobacteria trifolata*. Hangzhou: Zhejiang University, 2019
- [25] Miura H, Tanii S. Endosperm starch properties in several wheat cultivars preferred for Japanese noodles. Euphytica, 1994,72(3):171-175