

青海高原青稞农艺性状变化特征 及产量形成主要影响因素

严应存^{1,2} 豆青芳³ 高贵生⁴ 校瑞香^{1,2} 李璠^{1,2} 李菲^{1,2}

(1 青海省气象科学研究所, 西宁 810001; 2 青海省防灾减灾重点实验室, 西宁 810001;
3 青海省门源县气象局, 门源 810399; 4 青海省海北牧业气象试验站, 海北 810299)

摘要: 利用1980—2021年门源县农业气象站的青稞产量、产量构成及气候资料,采用Pearson相关系数法、主成分分析、积分回归等方法,分析了春青稞产量形成要素和产量间关系及其气候影响关键因素、影响关键时期。结果表明:青稞产量形成与拔节期生长高度、穗粒数、千粒重、茎秆重密切相关,与拔节期的植株密度也有一定的关系。整个生长季中,4月、5月和7月温度对青稞产量的影响为正效应,3月、6月和8月的影响为负效应。5—7月是气温影响产量的关键时段,即出苗—开花阶段。4月是降水影响产量的关键时段,即播种—出苗期。日照时数影响青稞产量的关键阶段在拔节期。制约当地青稞产量形成的关键因素是温度。

关键词: 春青稞; 农艺性状; 产量形成; 气象影响因素

DOI: 10.3969/j.issn.2095-1973.2023.04.011

Main Influencing Factors of Yield Formation and Agronomic Characters of Highland Barley in Qinghai Plateau

Yan Yingcun^{1,2}, Dou Qingfang^{1,3}, Gao Guisheng⁴, Xiao Ruixiang^{1,2}, Li Fan^{1,2}, Li Fei^{1,2}

(1 Qinghai Institute of Meteorological Science, Xining 810001; 2 Key Laboratory of Disaster Prevention and Mitigation in Qinghai Province, Xining 810001; 3 Menyuan Meteorological Bureau of Qinghai Province, Menyuan 810399; 4 Haibei Animal Husbandry Meteorological Experiment Station of Qinghai Province, Haibei 810200)

Abstract: Based on the highland barley yield, yield composition factors and parallel climate data of the agricultural meteorological station of Menyuan County from 1980 to 2021, the Pearson correlation coefficient method, principal component analysis, and integral regression are used to analyze the relationship between the yield formation factors and yield of spring highland barley, as well as the key climatic factors and the key period of impact. The results show that the yield formation of highland barley is closely related to the growth height, grain number per ear, 1000-grain weight and stem weight during the jointing stage. The yield formation is also closely connected with the plant density of the jointing stage. During the whole growing season, the temperature in May, July and April has a positive effect on the yield of highland barley, while the temperature in June, March and August has a negative effect. May to July is the key period for temperature to affect the yield, that is, the emergence - flowering stage. April is the key period for precipitation to affect the yield, that is, the seed-emergence period. The key stage of sunshine hours affecting the yield of highland barley is the jointing stage. The key factor restricting the formation of local highland barley yield is temperature.

Keywords: spring highland barley, agronomic character, yield formation, meteorological factors

0 引言

青藏高原是世界上青稞种植面积最大的地区。青稞是青藏高原藏族同胞的主粮^[1],也是青藏高原青稞酒酿酒原料和饲料,是保障青藏高原经济发展和社会

稳定的重要物质要素。青稞的种植范围包括西藏、青海、四川、甘肃、云南四省藏区。青稞是青海省第二大粮食作物,种植面积占谷物面积的41.03%^[2],主要分布在高寒农区和农牧交错带,在长期的适应性进化过程中产生了抗逆基因,具有耐寒、耐旱、耐瘠薄等特性。全球气候变化对农业造成影响已成为学术界的共识,极端天气事件增多导致农业生产脆弱性增强^[3-6]。近年来,随着气候变化和疫情等因素的影响,粮食安全生产显得尤为重要,青稞方面的研究迅速发

收稿日期: 2022年3月10日; 修回日期: 2022年8月12日
第一作者: 严应存(1974—), Email: yanyingcun@sohu.com
资助信息: 青海省科技厅创新平台建设专项(2022-ZJ-Y11);
青海省科技厅项目(2021-ZJ-611)

展, 学者们对气候变化对青稞生长发育的影响^[7]、气候生产潜力^[8-9]、良种培育^[10]、抗逆性^[11-13]等方面进行了深入的研究。李萍^[14]通过试验法研究了西藏青稞产量及其构成因子分析, 得出了穗部因子对青稞产量影响最大。祁如英等^[15]分析评价了门源青稞平均产量、千粒重、穗粒数与气温、降水和日照时数的关系, 得出青稞拔节—抽穗期温度和日照时数对产量形成有积极作用, 乳熟—成熟期是产量形成的关键时期。上述研究中由于缺乏青稞长序列农艺性状资料, 针对气候变化背景下长序列青稞产量、产量构成因素、产量与气候要素的相互关系及主要气象影响因素的研究较少。通过分析青稞发源地青海省门源县农业气象试验站近35年观测的青稞农艺性状及其气象资料, 揭示青稞生长状况、产量结构变化的内在关系及其气象影响因素等, 以期为提高青稞产量所采取的栽培措施和高产育种性状选择提供科学决策依据。

1 资料与方法

1.1 资料来源

门源县1980—2021年青稞产量、产量结构要素(1999—2000年和2003—2006年停测), 1980—2021年气温和降水资料均来源于青海省气象局信息中心。文中涉及的试验产量指农业气象观测站观测的青稞产量(kg/hm²); 平均产量指全县调查的青稞产量(kg/hm²); 实际产量是指试验产量和平均产量未进行气象产量分离时的值。

1.2 研究方法

1.2.1 气象产量

作物产量是在各种自然和非自然因素综合影响下形成的, 因此可将青稞的实际单产 Y 分解为趋势产量 Y_t (主要由社会生产力决定)、气象产量 ΔY (主要由天气气候条件决定)和一些随机产量 e , e 是由一些随机因素影响的产量分量, 实际计算中可不考虑, 即:

$$Y = Y_t + \Delta Y. \quad (1)$$

趋势产量是假定在气象条件正常的情况下, 由于品种改良、增施肥料、排灌及栽培技术措施等因素影响的产量, 一般占产量的80%以上。一般情况下, 农业技术措施是逐渐改善的, 因此趋势产量通常为时间(年份)的正函数, 它对产量的影响在时间序列上变化较平稳。本文利用线性回归法分离青稞1980—2021年试验产量和平均产量资料, 得到趋势产量和气象产量:

$$Y_{st} = 8.0307x + 120.9, \quad (2)$$

$$Y_{pt} = 63.369x + 1685.7, \quad (3)$$

$$\Delta Y_s = Y_s - Y_{st}, \quad (4)$$

$$\Delta Y_p = Y_p - Y_{pt}, \quad (5)$$

式中, Y_{st} 和 Y_{pt} 分别为试验产量和平均产量的趋势产量(kg/hm²); x 为预报年份序列号; ΔY_s 和 ΔY_p 分别为分离的试验产量和平均产量的气象产量(kg/hm²); Y_s 和 Y_p 分别为实际的试验产量和平均产量(kg/hm²)。

样本数共35个, 青稞产量随时间变化极显著($R=0.775$, $P<0.01$)。气象产量分离结果见图1。

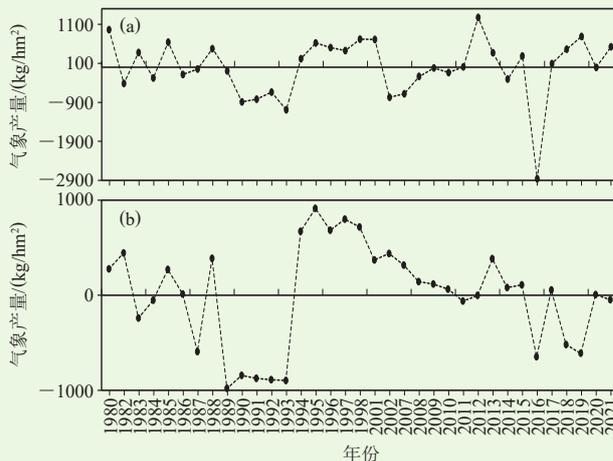


图1 1980—2021年门源县青稞试验产量和平均产量的气象产量分离结果

(a) 试验产量分离结果; (b) 平均产量分离结果

Fig. 1 Meteorological yield separation of experimental output (a) and average output (b) of highland barley in Menyuan County from 1980 to 2021

1.2.2 主成分分析

主成分分析(PCA)是多元统计分析中一种重要方法, 通过多个指标的线性组合, 能将众多的具有错综复杂相关关系的一系列指标归结为少数几个综合指标, 使主成分相互独立, 舍去重叠的信息, 更集中、典型地表明研究对象的特征。

本文通过Pearson相关系数法筛选青稞产量形成的关键生产性状(生长高度、茎秆重、密度、穗粒数、千粒重、株成穗数、成穗率等), 在此基础上, 筛查影响关键生产性状的极显著($P<0.01$)的气候要素, 根据解释含义 $KMO>0.5$, Bartlett球形检验 $Sig.<0.05$ (即 $P<0.05$)的前提下, 特征值 >1 或累计贡献率 $>80\%$ 的原则, 提取主成分进行主成分分析。

1.2.3 积分回归

积分回归是指因变量 y 受到第 j 个随时间而变化的因子影响, 相应他们对因变量的影响又是随时间而变化的。每个因子对因变量的影响是每时每刻的微小效应在全生育期的定积分, 而所有因子的总效应又等于每个因子的效应总和。假设作物产量为因变量, 影响因素如温度、降水量、日照时数等气象要素为自变量。

将作物整个生育期间分为若干个时段，把某一时段、某一气象要素值作为一个自变量。采用由Fisher提出的积分回归(integral regression)方法。具体计算方法用DPS数据处理系统，用于气象条件对青稞产量的影响评估^[16-17]。

2 结果与分析

2.1 青稞品种变化

青稞品种主要为门源亮兰、莫多吉、北青3号、北青4号和北青8号(表1)，均为春性品种，熟性由20世纪80年代初的特早熟向中熟品种逐渐变更。

表1 1980—2021年门源县青稞品种变化
Table 1 Cultivar change of highland barley in Menyuan County from 1980 to 2021

年份	1980—1984、1987—1990	1985—1986	1991—1998	2001	2008	2002、2009—2021
作物品种	门源亮兰	莫多吉	北青3号	北青4号	肚里黄	北青8号
熟性	特早熟	中早熟	中早熟	中熟	中熟	中熟

2.2 青稞农艺性状特征及其与产量的关系

2.2.1 青稞农艺性状变化趋势

1980—2021年门源青稞生长高度乳熟期最大，在68~110 cm，平均为87 cm；密度拔节期最大，在383~1203株/m²，平均为578株/m²；茎秆重在183.6~1220.73 g/m²，平均为719.25 g/m²；平均穗粒数在12~41粒/穗，平均为24粒/穗；千粒重在27.3~53.0 g，平均为40.4 g；成穗率在42%~99%，平均为75%；平均产量在1275~3855 kg/hm²，平均为2826.3 kg/hm²。从变异系数看，植株高度拔节期较乳熟期变异程度大；植株密度拔节期密度变异程度大于三叶期和乳熟期；穗部因素中穗粒数的变异程度最大，

其次为成穗率，千粒重的变异程度最小。整体来看，试验田产量变异程度最大，其次从小到大依次为乳熟期高度、千粒重、成穗率、乳熟期密度、三叶期密度、穗粒数、拔节期密度、茎秆重、拔节期高度。1980年以来各发育期青稞密度呈极显著减小趋势(P<0.01)，平均每10 a减幅在50.49~96.16株/m²，其余要素均呈增加趋势，其中穗粒数、拔节期生长高度和平均产量呈极显著增加趋势(P<0.01)，穗粒数、拔节期生长高度、平均产量每10 a分别增加4.24粒/穗、80.31 g/m²、10 cm和633.7 kg/hm²(表2)。可以看出，1980年以来青稞生产性状发展方向为粗壮型，穗部各指数增加，但种植密度相对稀植化，可以促进青稞高产。

表2 1980—2021年门源县青稞农艺性状
Table 2 Agronomic characters of highland barley in Menyuan County from 1980 to 2021

要素	高度/cm		密度/(株/m ²)			茎秆重/(g/m ²)	穗粒数/(粒/穗)	千粒重/g	成穗率/%	试验田产量/(g/m ²)	平均产量/(kg/hm ²)
	拔节	乳熟	三叶	拔节	乳熟						
最低值	14	68	206	384	338	183.6	12	27.3	42	75.8	1275.0
平均值	33	87	402	579	490	719.3	24	40.4	75	265.5	2826.3
最高值	60	110	706	1203	750	1220.7	41	53.0	99	465.0	3855.0
标准差	13.14	11.123	122.91	182.62	117.13	236.28	7.46	6.22	13.67	111.62	838.23
变异系数	39.51	12.76	30.59	31.55	23.89	32.85	30.70	15.42	18.10	42.05	/
相关系数	0.741**	0.152	-0.470**	-0.567**	-0.562**	0.242	0.547**	0.225	0.134	0.726**	0.764**
变化速率/10a	9.53	1.42	-50.49	-96.16	-61.56	61.15	4.24	1.55	1.24	80.31	633.69

注：**表示相关系数通过0.01水平的显著性检验(P<0.01)，下同。

2.2.2 青稞农艺性状间相关关系

青稞拔节期生长高度与乳熟期的密度呈极显著负相关(P<0.01)、与穗粒数、产量呈极显著正相关(P<0.01)，而乳熟期生长高度与其他农艺性状间相关性不显著。三叶、拔节和乳熟期种植密度与茎秆重显著正相关(P<0.05)，但与试验产量负相关(P<0.1)，其中拔节期植株密度具有弱负效应(P<0.1)。茎秆重、穗粒数、千粒重、成穗率与产量间的相关系数来看，产量与茎秆重、穗粒数和千粒重呈极显著或显著正相关(P<0.05或P<0.01)，穗粒数、千粒重与产量

的正相关结论与宋志建等的研究结论一致^[18]。试验产量与平均产量的相关系数达到极显著相关(P<0.01)(图2和图3)。可以看出，门源青稞农艺性状对平均产量的贡献率分别为穗粒数>茎秆重>拔节期高度>千粒重>拔节期密度>乳熟期密度>三叶期密度>乳熟期高度>成穗率。一般认为，产量组成因素对产量的贡献率为：有效穗数>穗粒数>千粒重>基本苗>全生育期^[19]。张亚静等^[20]根据试验得出青稞穗部因素对产量的影响为穗数>穗粒数>千粒质量。本文中成穗率(成穗率=(有效茎数/最高茎数)×100%)对产量



注：*表示相关系数通过0.05水平的显著性检验（ $P < 0.05$ ），下同。

图2 1980—2021年门源县青稞产量及其形成因素间的相关系数

Fig. 2 Correlation coefficient between highland barley yield and its formation factors in Menyuan County from 1980 to 2021

的贡献率小。密度和成穗率变化趋势研究表明，门源青稞种植密度极显著减小（ $P < 0.01$ ），成穗率增加，且对产量呈正效应，但尚未达到对产量起主导作用的阈值。可见青稞种植密度过大，导致青稞成穗率低是对青稞产量贡献率低的主要原因。生产实践中减少播种量，促进有效茎数形成，是提高青稞产量的途径之一。同时表明青稞播种密度小，对形成壮苗有正效

应，可以促进穗粒数增加，利于高产。

2.3 青稞产量形成主要影响因素

2.3.1 生产性状与气象条件的关系

对与生产性状相关显著（ $P < 0.05$ ）的气象因子分别进行主成分分析。分析影响青稞生长高度的气象因子时，提取了5个主成分。通过旋转的因子载荷阵（略）表明，影响青稞生长高度的主成分有5个，第1主成分贡献率为58.5%，受播种一出苗期平均气温因子的影响最大。第2~5主成分贡献率在4.887%~8.815%，分别受出苗一拔节期活动积温、3月平均气温、冬季热量和11月降水的影响最大，影响效应均为正载荷。可以看出，影响生长高度的主导气象条件为热量因子，其次为上年11月降水量。影响密度的主成分有2个，第1主成分贡献率59.0%，受出苗一拔节期热量因子的影响最大，第2主成分贡献率26.9%，受拔节前日照时数的影响最大。其中热量因子为正载荷，日照时数为负载荷。表明幼苗期热量条件好，日照适当偏少能促进青稞分蘖，增大植株密度。影响穗粒数的主成分有3个，第1主成分贡献率71.5%，受3—8月热量因子的影响最大，第2主成分贡献率8.3%，受出苗一拔节期 $\geq 0^\circ\text{C}$ 活动积温的影响最大，第3主成分贡献率6.0%，受上年11月降水的影响最大，影响效应均为正载荷。影响千粒重的气候因子

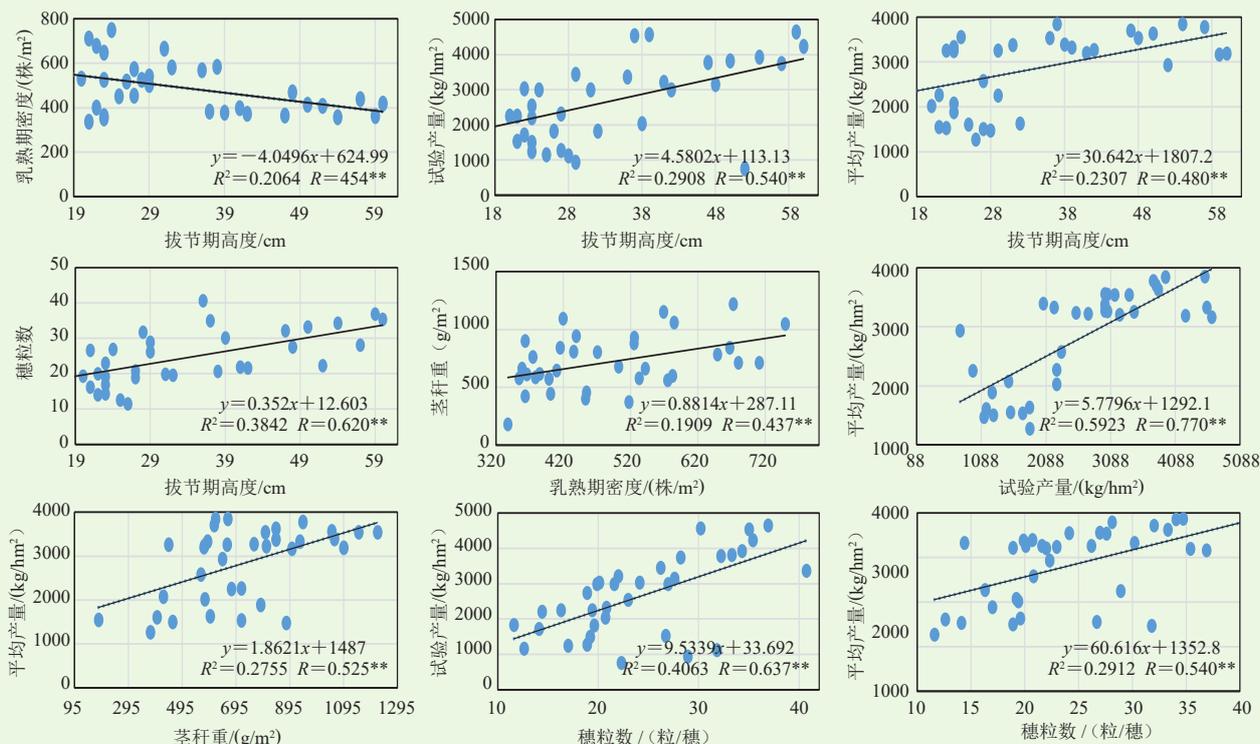


图3 1980—2021年门源县青稞农艺性状间散点图

Fig. 3 Scatter plot of agronomic traits of highland barley in Menyuan County from 1980 to 2021

主要为生长季热量条件，3—8月 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温高，千粒重大，反之则小，其中开花—成熟期 $\geq 10^\circ\text{C}$ 活动积温影响最大($P < 0.01$)。影响茎秆重的气象因子主要为3月热量因子和日照条件，表明3月气温高、日照条件好，青稞可以及时或提前播种、出苗，促进青稞正常生长发育，形成壮苗，提高茎秆重。

2.3.2 青稞实际产量与气象条件的相关性

1980年以来，青稞产量高低受气候变化、品种改良和管理措施等诸多因素影响。根据田间管理记录，1980年以来青稞以机械化种植为主，采用油菜和青稞轮作的耕作方式，有灌溉条件但基本不灌溉。计算青稞不同发育阶段光温水与青稞平均产量间的Pearson相关系数(图4)，结果表明，生长季温度呈正效应，且大部分呈显著或极显著相关($P < 0.05$ 或 $P < 0.01$)；降水除8月为正效应，其余为负效应或相关性极小；日照时数3月和5月呈正效应，其余呈负效应。从不同发育

阶段看，备播期、播种—出苗期、出苗—拔节期、拔节—开花期、开花—成熟期及播种—成熟期平均气温、 $\geq 0^\circ\text{C}$ 、 $\geq 3^\circ\text{C}$ 、 $\geq 5^\circ\text{C}$ 、 $\geq 10^\circ\text{C}$ 积温与产量呈极显著正相关($P < 0.01$) (拔节—开花期除外)。青稞产量与播种前气温、降水、日照时数呈正相关，与其余时间降水和日照均呈负相关，表明影响青稞产量形成的关键因素是温度条件，不同发育阶段温度对产量形成起正效应。拔节—开花期的积温影响最小，出苗—拔节期的积温影响最大(图4)。二叶一心期、三叶一心期青稞幼穗分化进入单穗期，分蘖开始，拔节前1~2 d，分蘖停止^[21]。分蘖期易受环境影响而具有弹性很大的特性，热量条件好，分蘖加速，温度在 12°C 时分蘖速率达最高峰^[22]，门源青稞分蘖期普遍出现在5月下旬，期间日平均气温为 8.4°C 左右，较分蘖高峰期温度偏低，因此期间温度高有助于促进分蘖，提高成穗率和穗粒数，促进高产。

2.3.3 气象条件对青稞产量的影响评估

图5给出了利用积分回归计算出的门源青稞从3月备播至8月成熟以月为时间单位的平均气温、降水和日照时数对青稞气象产量影响系数的变化情况。从图5a中可以看出，备播期气温对青稞产量影响为负效应。进一步分析门源霜冻灾害、初终霜日和青稞发育期表明，门源霜冻灾害占总灾害的53%，备播期温度偏高，土壤解冻早，播期提前，但门源基础温度低，遭遇终霜冻的风险加大^[7]。4—5月平均气温对青稞产量的影响总体为正效应，影响系数为 $53.31 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ 、 $220.72 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ，主要是因为门源温度较低，4月青稞处于播种—出苗期，气温适当偏高能促进青稞种子发芽，5月青稞进入出苗—三叶期、三叶—分蘖期，温度适当偏高对增加有效分蘖、形成壮苗十分有利，也是青稞一生中温度最敏感的阶段。6月青稞进入拔节期，气温对青稞产量影响为负效应，也是青稞一生中温度的次敏感阶段，影响系数为 $-179.74 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ，期间温度过高，易使植株高度偏高，后期倒伏的风险加大，适当的低温，对促进幼穗分化、增加小穗数和穗粒数有利。7月青稞进入抽穗—开花期，温度对青稞产量的影响为正效应，影响系数为 $145.04 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ，该阶段处于相对敏感阶段，期间适当高温能增加结实率。8月青稞进入灌浆—成熟阶段，青稞产量对气温的敏感性减弱，影响系数为 $-68.797551 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot ^\circ\text{C})$ ，期间温度偏高易导致高温逼熟，千粒重降低。

从图5b和5c可以看出，降水对青稞气象产量的影响较小，影响系数绝对值大多在 $3.75 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$

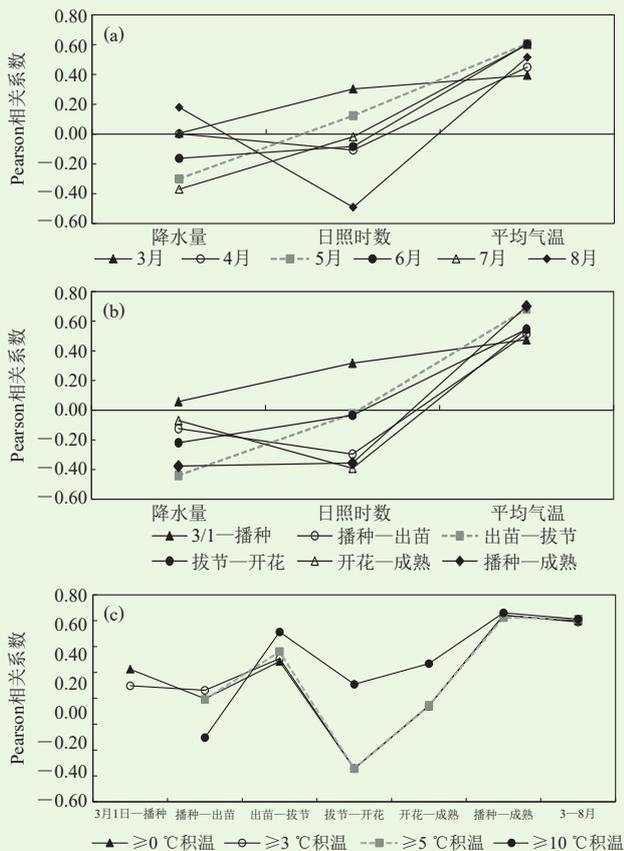


图4 1980—2021年门源县青稞产量与气候要素相关系数
(a) 整个生长季; (b) 不同发育阶段; (c) 不同发育阶段积温
Fig. 4 Correlation coefficient between highland barley yield and climatic factors in Menyuan County from 1980 to 2021

(a) The overall growing season; (b) Different development stages; (c) Accumulated temperature at different development stages

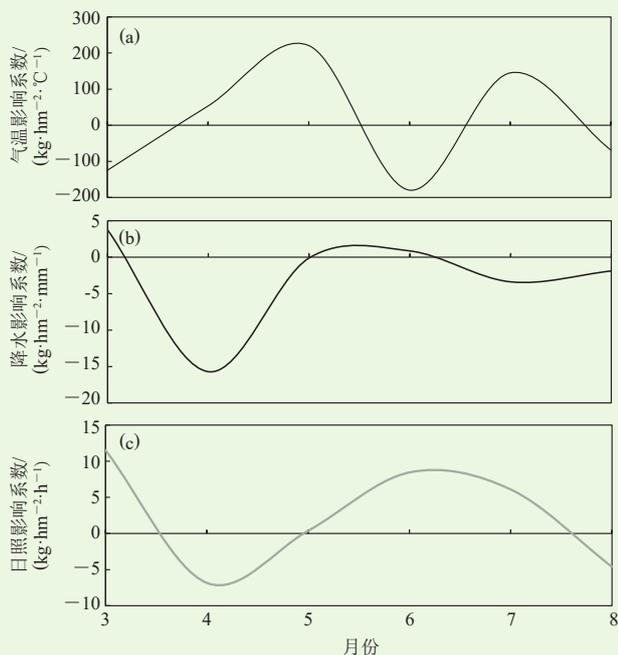


图5 1980—2021年门源县青稞生长季各月平均气温(a)、降水量(b)和日照时数(c)对青稞产量的影响系数
Fig. 5 Influence coefficient of monthly average temperature (a), precipitation (b) and sunshine duration (c) during the growing season on highland barley yield in Menyuan County from 1980 to 2021

以内,其中4月最大,为 $-15.71 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{mm})$ 。备播期3月、拔节—孕穗期6月呈正效应,其余均为负效应。日照时数对青稞产量的影响系数绝对值大多在 $4.62 \sim 8.45 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 之间,3月最大,为 $11.52 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$,5月最小,为 $0.237 \text{ kg}/(\text{hm}^2 \cdot \text{h})$ 。其中4月和8月呈负效应,其余月份均为正效应。根据青稞生产实际对气象条件的需求分析,备播期降水促进土壤储水,有利于苗期抗旱^[23]。4月青稞播种,植株处于春化阶段,降水对产量影响为负效应,且是降水对当地青稞一生中影响最敏感的阶段。实验表明,春青稞播种一出苗期需水量约 22.1 mm ,全生育期需水量约 346.3 mm ^[24]。根据1980—2021年资料统计,门源青稞播种一出苗期平均降水量 32.9 mm ,全生育期平均降水量 370.5 mm 。可见门源青稞播种期间自然降水富余,土壤湿度较大时会抑制种子的呼吸作用,使种子不能正常萌发^[25]。因此,4月降水对青稞产量的影响呈负效应。5月及以后,降水对青稞产量的影响很小,这也印证了青稞全生育期自然降水能够满足其生长发育需求,降水量不是限制其产量形成的关键因素。在降水量能够满足青稞生长发育的前提下,光照充分有利于提高作物的光合作用,改善作物品质,增加总糖、还原糖和淀粉含量^[26]。门源地区日照时数对幼苗

期的青稞影响小,进入拔节—开花期,日照时数对青稞产量的影响为正效应,期间日照时数偏多青稞光合作用充分,植株健壮,减少后期倒伏风险,且日照充足青稞花粉和柱头活力高,授粉效果好。青稞乳熟以后(8月),晴天天气灌浆充分,但期间该地区处于一年中高温晴热时段,日照时数偏多、气温偏高有可能导致青稞高温逼熟,生育期缩短^[27],影响籽粒饱满度和千粒重。

3 结论和讨论

3.1 结论

门源青稞高度在 $68 \sim 110 \text{ cm}$,平均 87 cm 。密度拔节期最大,在 $383 \sim 1203 \text{ 株}/\text{m}^2$,平均为 $578 \text{ 株}/\text{m}^2$ 。茎秆重 $183.6 \sim 1220.73 \text{ g}/\text{m}^2$,平均为 $719.25 \text{ g}/\text{m}^2$ 。穗粒数 $12 \sim 41 \text{ 粒}/\text{穗}$,平均为 $24 \text{ 粒}/\text{穗}$ 。千粒重 $27.3 \sim 53.0 \text{ g}$,平均为 40.4 g 。成穗率 $42\% \sim 99\%$,平均为 75% 。产量在 $1275 \sim 3855 \text{ kg}/\text{hm}^2$,平均为 $2826.3 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。

1980—2021年门源青稞种植密度呈极显著减小趋势($P < 0.01$),每10年减幅在 $50.49 \sim 96.16 \text{ 株}/\text{m}^2$,其余要素均呈增加趋势,其中穗粒数、拔节期生长高度和平均产量呈极显著增加趋势($P < 0.01$)。种植密度变小,植株粗壮化,穗部各指数增加,表明适当稀植有利于青稞分蘖和形成有效穗数。

整个生长季,温度对青稞气象产量影响效应从大到小依次为:5月(+)>6月(-)>7月(+)>3月(-)>8月(-)>4月(+)。可以看出,气温影响产量的关键时段是5—7月,即出苗—开花阶段。降水影响产量的关键时段是4月,即播种—出苗期。日照时数影响青稞产量的关键阶段为备播期和拔节期。青稞产量形成的关键制约因素是温度。综合气候要素对产量形成的主要生产性状影响分析,门源青稞生长季3—8月降水量基数较大,为 $318.5 \sim 546.9 \text{ mm}$,满足青稞对降水的需求,加之秋季降水自1980年以来呈增加趋势,土壤墒情较好,因此,多数时段降水增加对青稞产量形成起到负效应。

3.2 讨论

门源县整体处于青稞种植的高适宜区,常年青稞种植面积超过 10000 hm^2 ^[28],是青藏高原青稞种植的典型区域,对青藏高原青稞适应气候变化、产量形成机理研究和保障藏区粮食安全生产等具有重要的示范意义。门源春青稞品种先后为门源亮兰、莫多吉和北青系列,熟性由极早熟向中熟变更。整体上,青稞向粗壮型、穗部指数增加、种植密度稀植化发展。气候变化背景下,门源青稞生长季气温极显著升高,降水量极显著增加,日照时数明显减少,降水和日照时

数对物候期影响不大,气温影响极显著^[29]。这也印证了本研究得出的温度是该地区青稞产量形成的关键制约因素的结论。统计表明,门源2011—2020年0℃界限温度初日较20世纪60年代提前了10~13 d,终日推迟了3~7 d。可见气候变化为当地农作物生长提供了更丰富的热量资源。研究证明,随着气候变暖,春播地区也逐渐能种植冬性品种的青稞,而冬性、半冬性青稞品种多数农艺性状优于春性品种,抗寒性强,产量高^[30]。因此,随着分子育种技术的进步和青藏高原气候暖湿化,门源地区青稞宜选用中晚熟、耐寒性品种,播种期提前,提高气候资源利用率。

参考文献

- [1] 韦泽秀,卓玛,曲航.海拔与积温梯度对春青稞生长的影响.西藏农业科技,2018,(Z1): 11-15.
- [2] 青海省统计局,国家统计局青海调查大队.青海统计年鉴.北京:中国统计出版社,2021.
- [3] 陶生才,许吟隆,刘珂,等.农业对气候变化的脆弱性.气候变化研究进展,2011,7(2): 143-148.
- [4] 赵秀兰.近50年中国东北地区气候变化对农业的影响.东北农业大学学报,2010,41(9): 144-149.
- [5] 谢立勇,李悦,钱凤魁,等.粮食生产系统对气候变化的响应:敏感性脆弱性.中国人口·资源与环境,2014,24(5): 25-30.
- [6] 董智强,潘志华,安萍莉,等.北方农牧交错带春小麦生育期对气候变化的响应——以内蒙古武川县为例.气候变化研究进展,2012,8(4): 265-271.
- [7] 严应存,赵全宁,王喆,等.青海省门源县1980—2015年青稞物候期变化趋势及其驱动因素.生态学报,2018,38(4): 1264-1271.
- [8] 赵雪雁,王伟军,万文玉.近50年气候变化对青藏高原青稞气候生产潜力的影响.中国生态农业学报,2015,23(10): 1329-1338.
- [9] 格桑卓玛,巴桑次仁.日喀则气候变化对青稞生产潜力和增产空间的影响分析.气象科学,2018,38(11): 140-142.
- [10] 吴宏亚,陈初红,胡俊,等.西藏青稞研究现状及品种遗传改良进展.大麦与谷类科学,2013,(4): 10-15.
- [11] 赵小红,白羿雄,姚有华,等.禾谷类作物茎秆特性与茎倒伏关系的研究.植物生理学报,2021,57(2): 257-264.
- [12] 王玉林,徐齐君,原红军,等.PEG模拟干旱胁迫处理对青稞幼苗生长和生理特性的影响.大麦与谷类科学,2018,(1): 6-12.
- [13] 白羿雄,姚晓华,姚有华,等.青稞抗倒伏性状的基因型差异.中国农业科学,2019,52(2): 228-238.
- [14] 李萍.西藏林芝地区春青稞产量及其构成因子主成分分析.西南农业学报,2010,23(1): 26-29.
- [15] 宋志剑,汪青春,马占良.青稞产量形成的气象条件分析评价.麦类作物学报,2008,28(3): 518-522.
- [16] 唐启义,唐睿.DPS数据处理系统.北京:科学出版社,2020.
- [17] 王禹,许世卫,喻闻.气象因素对花生单产影响研究.广东农业科学,2014,41(15): 1-8.
- [18] 宋志剑,刘仁建,雄奴塔巴,等.拉萨地区春青稞产量构成因素相关性及其通径分析.西藏农业科技,2008,(4): 11-14.
- [19] 刘国一,唐亚伟,孙全平,等.提早播种对高原青稞增产的成因研究.西藏科技,2015,(8): 9-13.
- [20] 张亚静,蒋礼玲,吴昆仑,等.不同类型青稞产量构成因素及其对产量的影响.江苏农业科学,2016,44(5): 119-122.
- [21] 扎桑,朱丽娟,卓嘎.几种青稞新品种叶片出生与穗分化关系研究.湖北农业科学,2015,54(8): 1932-1937.
- [22] 杨志强.青稞幼穗分化与外部形态关系研究.西藏农业科技,1988,(1): 7-12.
- [23] 门源县农业科学研究所.青稞适时早播好处多.青海农林科技,1973,(2): 1.
- [24] 侯亚红.不同播期和灌溉水平下青稞需水规律.西藏农业科技,2018,(1): 13-18.
- [25] 王鑫,马文艳,贾宇寰,等.不同土壤湿度对沙棘种子萌发的影响.中国林福特产,2019,(3): 16-19.
- [26] 谭大明,季永月,谭海运,等.西藏60多年来青稞生长季日照时长变化趋势.西南师范大学学报(自然科学版),2020,45(12): 48-57.
- [27] 刘依兰,袁雷.影响西藏日喀则地区青稞产量的气候因子研究.农业与技术,2013,33(10): 190.
- [28] 马卫东.气候变化对青藏高原青稞种植的影响评估.西宁:青海师范大学,2022.
- [29] 李璠,校瑞香,严应存,等.气候变化对青海省青稞物候期的影响.麦类作物学报,2022,42(6): 755-763.
- [30] 栾运芳,王建林,王恒良.西藏春播青稞冬、春习性的研究分析.大麦与谷类科学,2007,(2): 34-37.