

高海拔寒区水氮耦合对青稞产量和品质的影响

时学双¹,王润芝²,达瓦琼达¹,索 珍¹,杨雪涛^{3*}

(1.西藏自治区日喀则市农业科学研究所,西藏 日喀则 857000;2.山东农业大学资源与环境学院,山东 泰安 271000;3.西藏自治区农牧科学院,西藏 拉萨 850000)

摘要:为阐释青稞产量、品质与灌水量和施肥量的关系,以藏青3000为材料,在西藏高海拔寒区进行了为期两年的水肥耦合试验。结果表明:土壤肥力充足的条件下,灌水对藏青3000产量、籽粒淀粉含量、籽粒支链淀粉含量与面筋含量影响显著;施氮对藏青3000产量、面筋含量影响显著。灌水与施氮对藏青3000籽粒蛋白质含量、面筋含量与稳定性有显著的交互效应。本试验条件下,拔节期、抽穗期、灌浆期分别灌水1次,每次灌水 $40\text{ m}^3/667\text{ m}^2$,施氮量为 180 kg/hm^2 时,藏青3000产量最高。

关键词:青稞;水氮耦合;灌水次数;施肥量;品质

中图分类号:S512.3

文献标志码:A

Effects of Water-nitrogen Coupling on Highland Barley Quality and Yield in a High-altitude Cold Zone

SHI Xueshuang¹, WANG Runzhi², Dawaqiongda¹, Suozhen¹, YANG Xuetao^{3*}

(1.Institute of Agricultural Sciences of Shigatse, Tibet Shigatse 857000, China;2.College of Resources and Environment, Shandong Agricultural University, Shandong Tai'an 271000, China;3. Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Tibet Lasha 850000, China;)

Abstract:To elucidate the relationship between the yield, quality, and irrigation and fertilization of highland barley, a two-year water-fertilizer coupling experiment was conducted in the high-altitude cold region in Tibet, using Zangqing3000 as the material. The results showed that under conditions of sufficient soil fertility, irrigation had a significant impact on the yield, grain starch content, grain amylopectin content, and gluten content of Zangqing3000. Nitrogen application had a significant impact on the yield and gluten content of Zangqing3000. Irrigation and nitrogen application had significant interactive effects on the grain protein content, gluten content, and stability of Zangqing3000. Under the conditions of this experiment, when the grain was irrigated once at the jointing stage, heading stage, and filling stage, each time with $40\text{ m}^3/667\text{ m}^2$ of water and 180 kg/hm^2 of nitrogen application, the yield of Zangqing3000 was the highest.

Key Words: highland barley; water-nitrogen coupling; irrigation; fertilization; quality

青稞作为我国青藏高原地区居民的主要粮食作物,拥有悠久的食用与开发历史。随着人民生活水平的不断提高,对青稞产量与品质提出了越来越高的要求^[1]。灌水与施肥是提高青稞产量与品质的关键因素。

土壤水分对青稞株高、地上部干质量、根干质量、根冠比和总生物量均具有显著影响^[1],灌水对

青稞生产影响显著,比如灌水处理可显著影响春青稞中后期株高生长^[2]。研究表明,拔节期及灌浆期是青稞耗水量最大的时期^[1]。同时,研究也表明水分亏缺下青稞籽粒中氮、钾、蛋白质和总氨基酸含量均呈升高趋势^[3]。目前,关于灌溉对青稞影响的研究主要集中在青稞需水量^[4-5]、气候与灌溉的关系^[6]、播期与灌溉的关系^[7]等方面。

西藏耕地有机质含量低,速效氮缺乏。氮肥是青稞产量提升的关键因子,一定范围内施用氮肥可以显著提高青稞产量,比如,在不施氮的情况下青稞320的籽粒产量仅为 $142.45\text{ kg}/667\text{ m}^2$,而当施氮量为 $18.77\text{ kg}/667\text{ m}^2$ 时,青稞320的籽粒产量可达到 $228.78\text{ kg}/667\text{ m}^2$ ^[8]。

收稿日期:2024-06-04

基金项目:西藏自治区日喀则市科技计划项目(RKZ2020KJ08)。

作者:时学双(1975-),男,博士,主要从事节水灌溉技术和作物栽培技术研究,E-mail:645278900@qq.com;*为通信作者:杨雪涛(1993-),女,硕士,主要从事农学研究,E-mail:1467490457@qq.com。

李玉庆等^[9]研究了不同水肥作用下西藏青稞生长动力学机制,表明青稞的干物质增量和累积量与土壤水分和氮素投入量呈现出非线性响应关系。然而,关于灌水与氮肥耦合对青稞产量和品质影响的研究还鲜见报道。

本研究针对西藏高海拔寒区灌水和氮肥对青稞的影响,并探究水氮耦合对青稞产量和品质的关系,为西藏高海拔寒区青稞种植提供水肥方案。

1 材料与方法

1.1 试验区概况与供试材料

供试材料:藏青 3000。

试验区概况:试验地位于西藏日喀则市农业科学研究所满拉灌区灌溉试验站(E88°53',N29°15'),海拔 3 836 m。试验地土壤为粉砂壤土,0~20 cm 土层有机质含量 25.05 g/kg、全氮 0.76 g/kg、全磷 1.54 g/kg、全钾 18.15 g/kg、水解性氮 49 mg/kg、有效磷 30 mg/kg、速效钾 92 mg/kg。

1.2 试验设计与处理

试验采用两因素裂区设计,灌水次数为主区,施氮量为副区。灌水设置灌 1 次(W1,三叶一心期)、灌 2 次(W2,拔节期、抽穗期)、灌 3 次(W3,拔节期、抽穗期、灌浆期)3 个水平,用水表计量灌水量,每次灌水 40 m³。施氮量设置 0 kg/hm²(N0)、90 kg/hm²(N1)、180 kg/hm²(N2)、270 kg/hm²(N3)4 个水平。每个小区面积为 66.7 m²,重复 3 次。灌水处理间设 1.5 m 宽水分隔离带。磷(P₂O₅)90 kg/hm²、钾(K₂O)120 kg/hm²作底肥一次性施肥。4 个施氮水平均用 50% 氮肥(尿素)作为底施,另外 50% 氮肥在三叶一心期施用。2021 年 4 月 25 日播种,其他管理同一般高产田。

1.3 测定项目与方法

1.3.1 青稞籽粒品质指标

淀粉及组分含量:将青稞籽粒样品过 60 目筛后,采用蒽酮比色法测定;直链淀粉含量:采用碘蓝染色法测定;支链淀粉含量:采用总淀粉含量减去直链淀粉含量测定。

青稞籽粒蛋白含量、硬度、面筋、稳定性采用近红分析仪(瑞士波通 DA7200 型)测定。

1.3.2 青稞生长指标

株高:青稞成熟期每小区选取 10 株代表性植株,用直尺从地面量至穗的顶端,不连芒,计算平均值。

穗长:青稞成熟期每小区选取 10 个代表性穗,用直尺从穗基部量至穗的顶端,不连芒,计算平均值。

每 667 m²穗数:成熟期每小区取 1 m²样方,计算穗数,折算成每 667 m²穗数。

穗粒数:每小区随机选取 50 穗(边行除外)混合脱粒,数其总粒数,求得平均穗粒数。

千粒质量:青稞收割脱粒晒干后,随机取 1 000 粒种子,称质量。

籽粒产量:青稞每小区单独收获、脱粒、晾晒、风干后称质量计产,折算籽粒产量。

秸秆产量和总生物量:成熟期每小区取 1 m²样方,分别计算秸秆产量和总生物量。

1.4 试验数据统计

采用 Microsoft Office Excel 2016 和 IBM SPSS Statistics 23 软件进行数据整理和统计分析。

2 结果与分析

2.1 灌水和氮肥对青稞产量指标的影响

灌水显著影响青稞产量相关指标,相较于灌水 1 次,灌水 2 次和灌水 3 次均显著提高了青稞株高、穗长、亩穗数、穗粒数、千粒质量、籽粒产量、秸秆产量和总生物量。灌水 3 次时青稞籽粒的穗长、秸秆产量和总生物量最高,分别为 8.44 cm、485.83 kg/667 m² 和 803.27 kg/667 m²,相较于灌水 1 次,分别提升 24.30%、48.92% 和 52.60%。相较于灌水 2 次,灌水 3 次,显著提高了青稞穗长、秸秆产量和总生物量。

与不施氮肥(N0)相比,N1、N2 施氮处理均显著提高了青稞株高、穗长、每 667 m²穗数、穗粒数、千粒质量、籽粒产量、秸秆产量和总生物量,施氮量为 90 kg/hm²时青稞株高、穗长、秸秆产量与总生物量分别为 99.98 cm、8.71 cm、503.95 kg/667 m² 和 853.03 kg/667 m²。与 N0 相比,N3 处理显著降低了青稞株高、穗长、每 667 m²穗数、穗粒数、千粒质量、籽粒产量、秸秆产量和总生物量。2021 年和 2022 年本试验青稞产量相关指标间无显著差异。

灌水量和施氮量均对青稞株高、穗长、每 667 m²穗数、穗粒数、千粒质量、籽粒产量、秸秆产量和总生物量具有极显著影响。灌水量、施氮量和年份对株高、穗长、每 667 m²穗数、穗粒数、千粒质量、籽粒产量、秸秆产量和总生物量存在极显著互作关系(表 1、表 2)。

表1 灌水量、施氮量与年份对青稞产量指标的影响

指标	株高/cm	穗长/cm	每667 m ² 穗数/ (万穗)	穗粒数/粒	千粒质量/g	籽粒产量 /(kg·667 m ⁻²)	秸秆产量 /(kg·667 m ⁻²)	总生物量 /(kg·667 m ⁻²)
灌水量								
W1	86.26±2.05b	6.79±0.18c	15.34±0.55b	38.81±1.81b	38.14±0.42b	200.21±15.51b	326.18±14.75c	526.39±29.47c
W2	92.41±2.21a	7.70±0.20b	18.52±0.76a	45.75±1.74a	40.63±0.46a	278.82±18.36a	404.45±18.20b	683.26±35.82b
W3	96.75±2.09a	8.44±0.28a	19.93±0.75a	48.24±1.78a	41.31±0.41a	317.44±21.12a	485.83±25.30a	803.27±45.14a
施氮量								
N0	78.79±2.40d	6.03±0.13d	12.88±0.47d	31.38±1.30d	36.84±0.35c	126.28±8.81d	289.24±14.98d	415.53±23.66d
N1	92.05±1.62c	7.63±0.12c	18.04±0.48c	45.95±1.57c	40.42±0.34b	268.99±15.03c	385.19±13.40c	654.18±27.35c
N2	99.98±1.51a	8.71±0.27a	21.19±0.64a	50.95±1.10a	41.66±0.43a	349.08±14.57a	503.95±25.21a	853.03±39.20a
N3	96.43±1.10b	8.23±0.18b	19.63±0.57b	48.80±1.32b	41.18±0.41a	317.60±13.41b	443.56±25.11b	761.17±38.13b
年份								
Y1	88.38±2.25b	7.63±0.19a	18.05±0.75a	41.07±1.39b	40.38±0.37a	267.10±18.99a	423.46±22.83a	690.56±41.43a
Y2	95.25±0.90a	7.67±0.23a	17.82±0.53a	47.47±1.59a	39.67±0.45a	263.87±14.96a	387.51±14.97a	651.38±28.83a

注:表中每列数据后的不同小写字母,表示在 $p<0.05$ 水平上处理间差异具有统计学意义。

表2 灌水量、施氮量与年份对青稞生长指标的影响方差分析表

指标	灌水量	施氮量	年份	灌水量×施氮量	灌水量×年份	施氮量×年份	灌水量×施氮量×年份
株高	**	**	**	**	**	**	**
穗长	**	**	NS	**	NS	*	*
每667 m ² 穗数	**	**	NS	**	**	**	**
穗粒数	**	**	**	**	**	**	**
千粒质量	**	**	**	**	**	NS	**
籽粒产量	**	**	NS	**	*	**	**
秸秆产量	**	**	**	**	NS	**	**
总生物量	**	**	**	**	NS	**	**

注:*,**分别表示处理间在 $p<0.05$ 、 $p<0.01$ 水平差异具有统计学意义;NS表示处理间差异不具有统计学意义。

2.2 灌水和施氮对青稞品质的影响

灌水处理对青稞籽粒蛋白质含量、直链淀粉含量、籽粒硬度和稳定性无影响。相比灌1次水,灌3次水可显著提高青稞淀粉和支链淀粉含量,显著降低面筋含量。

与不施氮(N0)相比,施氮可显著提高青稞蛋白质含量、稳定性,但不同氮水平(N1、N2、N3)之间差异不显著。N2、N3处理的面筋含量显著高于N0、N1处理。

不同年份之间蛋白质含量、淀粉含量、直链淀粉含量、支链淀粉含量、面筋和稳定性差异显著。2022年青稞籽粒的蛋白质含量、淀粉含量、直链淀粉含量、面筋含量和稳定性分别比2021年提高15.03%、76.71%、30.41%、33.96%和8.75%。

灌水量和施氮量对青稞蛋白质含量、面筋含量和稳定性存在显著的交互效应,灌水量和年份在蛋白质含量、淀粉含量、支链淀粉含量和面筋含量等指标间存在显著的交互效应,施氮量和年份在蛋白质含量、淀粉含量、面筋含量和稳定性等指标间存

在显著的交互效应,灌水量、施氮量和年份仅在蛋白质含量和稳定性两个指标间存在显著的交互效应(表3、表4)。

3 讨论与结论

3.1 讨论

3.1.1 氮肥对青稞产量的影响

青稞产量是由千粒质量、每667 m²穗数和穗粒数3个因素共同构成^[10-11]。在本试验条件下,与不施氮相比,施氮90 kg/hm²、180 kg/hm²显著提高了青稞的每667 m²穗数、穗粒数、千粒质量和产量。

Singh等^[12]的研究表明,施氮量的增多显著增加了大麦每667 m²穗数、穗粒数、千粒质量和籽粒产量。Hattori^[13]认为在抽穗时增加施用氮素可增加青稞产量和千粒质量。本试验结果表明,增施氮肥作为底肥和追肥也可以增加青稞的每667 m²穗数、穗粒数、千粒质量和籽粒产量。

吴玥莹等^[14]认为,青稞籽粒产量在施氮量增加的情况下出现显著增加的原因主要得益于单位面

表3 灌水量、施氮量与年份对青稞籽粒品质指标的影响

指标	蛋白质含量/%	淀粉含量/%	直链淀粉含量/%	支链淀粉含量/%	硬度/u	面筋含量/%	稳定性/min
灌水量							
W1	12.40±0.85a	74.21±0.20b	29.82±0.25a	72.10±0.24c	77.83±0.32a	34.64±0.70a	7.89±0.20a
W2	11.63±0.70a	75.12±0.42ab	29.38±0.22a	74.80±0.28b	76.89±1.48a	32.82±0.34b	7.96±0.17a
W3	11.15±0.57a	75.61±0.54a	29.25±0.21a	76.07±0.56a	79.19±0.35a	31.44±0.30c	7.99±0.18a
施氮量							
N0	11.61±0.85b	74.94±0.48a	29.38±0.26a	74.60±0.49a	78.14±0.39a	32.14±0.57b	7.95±0.20b
N1	11.92±0.88a	74.94±0.47a	29.58±0.22a	74.29±0.42a	78.16±0.26a	33.30±0.69b	8.06±0.22a
N2	12.16±0.94a	74.64±0.39a	29.57±0.24a	74.94±0.76a	78.60±0.41a	34.59±0.72a	8.09±0.25a
N3	12.32±0.65a	75.40±0.61a	29.41±0.35a	74.66±0.44a	76.98±2.02a	34.63±0.35a	8.70±0.17a
年份							
Y1	8.42±0.03b	73.25±0.06b	28.54±0.13b	75.64±0.47a	77.98±0.06a	31.96±0.03b	7.15±0.01b
Y2	15.03±0.25a	76.71±0.26a	30.41±0.06a	73.59±0.08b	77.96±1.05a	33.96±0.59a	8.75±0.09a

注:表中每列数据后的不同小写字母,表示在 $p<0.05$ 水平上处理间差异具有统计学意义。

表4 灌水量、施氮量与年份对青稞籽粒品质的影响方差分析表

指标	年	灌水量*施氮量	灌水量*年份	施氮量*年份	灌水量*施氮量*年份
蛋白质含量	**	*	**	**	*
淀粉含量	**	NS	**	**	NS
直链淀粉含量	**	NS	NS	NS	NS
支链淀粉含量	**	NS	**	NS	NS
硬度	NS	NS	NS	NS	NS
面筋含量	**	*	**	**	NS
稳定性	**	**	NS	**	**

注:*,**分别表示处理间在 $p<0.05$ 、 $p<0.01$ 水平差异具有统计学意义;NS表示处理间差异不具有统计学意义。

积籽粒数量的增加,千粒质量并没有受到氮肥施加的显著影响。本研究表明,在合理水平上增加施氮量(90 kg/hm²、180 kg/hm²)青稞产量得到显著提升,产量提升归因于每667 m²穗数、穗粒数、千粒质量的综合效应,而不仅仅是单位面积籽粒数量的增加。

在本试验条件下,施氮90 kg/hm²青稞产量可达349.08 kg/667 m²,是4个处理中的最大值。鲁泽刚等^[15]研究表明,施氮量为117.3 kg/hm²时青稞产量达到最高值,而徐银萍^[16]等研究表明,氮肥施用水平达到135 kg/hm²时,大麦籽粒产量随施肥量增多而增加到最大值。施氮量与青稞产量之间的关系还与耕地的基础肥力、青稞品种以及气候等因素密切相关。

但过量施用氮肥会造成青稞产量下降。周栋等^[17]研究表明,施氮量为240 kg/hm²时籽粒产量、穗粒数、单位面积穗数和千粒质量均比施氮量为180 kg/hm²时显著下降。本研究结果也表明,施氮为270 kg/hm²时,青稞每667 m²穗数、穗粒数、千粒

质量和产量相比施氮量为90 kg/hm²、180 kg/hm²时显著降低。

3.1.2 灌水对青稞的影响

青稞水分利用效率较低,不属于高耗水作物。但西藏地区青稞在播种一出苗、出苗一分蘖两个生育期土壤水分含量过低、水分供需严重失衡,此时灌水对青稞的最终产量有显著影响。关于灌水对青稞产量影响的研究已有较多论述。^[1,4,7,18-21]

然而,关于灌水对青稞品质影响的研究还较少。Shrief等^[22]认为,随着灌溉量增加,大麦蛋白质产量显著增加,但缺水时会导致大麦蛋白质含量明显下降。本研究表明,灌水对青稞蛋白质含量没有明显影响,但随灌水量提高,青稞面筋含量显著提高。同时,灌水对藏青3000产量、籽粒淀粉含量、籽粒支链淀粉含量也有影响显著。灌水对青稞品质影响的研究还需进一步开展。

3.2 结论

1)灌水可显著提高青稞产量、籽粒淀粉含量、籽粒支链淀粉含量与面筋含量。

2)施用氮肥可显著提高青稞产量和面筋含量。

3)拔节期、抽穗期、灌浆期分别灌水1次,每次灌水 $40\text{ m}^3/667\text{ m}^2$,施氮量为 180 kg/hm^2 时,藏青3000产量最高。

参考文献:

- [1]侯亚红.西藏河谷农区灌水和中后期降雨对高产青稞耗水量与产量的影响[J].Agricultural Science & Technology, 2016, 17(3): 530-534.
- [2]蒙强,刘静霞,李玉庆,等.土壤水分下限调控灌溉对春青稞生长、产量和水分利用的影响[J].干旱地区农业研究, 2020, 38(1): 173-182.
- [3]白羿雄,姚晓华,姚有华,等.适度水分亏缺管理提高青稞营养品质和环境效益[J].植物营养与肥料学报, 2018, 24(2): 499-506.
- [4]李丹,罗红英,罗玉峰,等.西藏拉萨河谷灌溉供需水分析[J].排灌机械工程学报, 2018, 36(10): 1053-1058.
- [5]尹志芳,欧阳华,张宪州.西藏地区春青稞耗水特征及适宜灌溉制度探讨[J].自然资源学报, 2010, 25(10): 1666-1675.
- [6]孙进,鲁帆,王康铭,等.气候变化对西藏自治区青稞需水影响研究[J].中国农村水利水电, 2024(6): 64-74, 81.
- [7]侯亚红.不同播期和灌溉水平下青稞需水规律[J].西藏农业科技, 2018, 40(1): 13-18.
- [8]刘国一,尼玛扎西,尼玛扎西,等.不同施氮量对青稞产量的影响[J].西藏农业科技, 2013, 35(3): 17-20.
- [9]李玉庆,蒙强,张存,等.不同水肥作用下西藏青稞生长动力学机制与模拟研究[J].灌溉排水学报, 2019, 38(4): 17-24.
- [10]张明伟,王梦尧,马泉,等.稻茬晚播小麦公顷产 8000 kg 高产群体特征及产量构成分析[J].麦类作物学报, 2020, 40(10): 1194-1205.
- [11]黄宁,王朝辉,王丽,等.我国主要麦区主栽高产品种产量差异及其与产量构成和氮磷钾吸收利用的关系[J].中国农业科学, 2020, 53(1): 81-93.
- [12]Singh J, Mahal S S, Manhas S S. Effect of Wowing Methods, Nitrogen Levels and Irrigation Scheduling on Yield and Quality of Malt Barley (*Hordeum vulgare* L.) [J]. Indian Journal of Agronomy, 2012, 57(3): 259-264.
- [13]Hattori M. Effects of Top Dressing at Heading Time to Barley Cultivar 'Syunrai' [J]. Tohoku. Agric. Res. 1994, 47: 147-148.
- [14]吴玥莹,苏云雯,陈春艳,等.不同氮肥水平下大麦氮磷分配策略及利用效率分析[J].中国农学通报, 2023, 39(27): 9-16.
- [15]鲁泽刚,周龙,杨丽梅.不同施肥水平对大麦产量的影响及肥料效应[J].山东农业大学学报(自然科学版), 2018, 49(5): 744-749.
- [16]徐银萍.不同氮磷水平对啤酒大麦产量和品质及氮肥农学效率的影响[J].西北农林科技大学学报(自然科版), 2016, 44(11): 77-82.
- [17]周栋,于琦,李敖,等.施氮量对渭北旱地冬小麦产量和籽粒品质的影响[J].麦类作物学报, 2020, 40(7): 818-825.
- [18]秦基伟,杨素涛,谭海运.西藏地区作物需水量研究现状综述[J].西藏农业科技, 2019, 41(1): 74-77.
- [19]刘伟,徐冰,汤鹏程,等.高寒区低温水灌溉对春青稞生长和地温变化的影响[J].灌溉排水学报, 2020, 39(9): 51-57.
- [20]杜军,普布卓玛,索朗欧珠.西藏青稞需水关键期降水的气候变化特征[J].干旱地区农业研究, 2004(1): 23-27.
- [21]关迦文,何军,徐冰,等.高寒区低温水灌溉春青稞根层水分特征分析[J].水利与建筑工程学报, 2020, 18(4): 48-54.
- [22]Shrief SA, Ashraf A. Effect of Different Irrigation Regimes on Grain and Protein Yields and Water use Efficiency of Barley [J]. Scientia Agriculturae, 2014, 8(3): 140-147.