

西藏青稞种质资源苗期耐低氮鉴定与筛选

扎桑, 旺姆, 徐齐君*

(西藏自治区农牧科学院农业研究所, 西藏 拉萨 850032)

摘要:为选育出适应我国西部高原地区种植的耐低氮并高产的青稞品种,以1029份青稞种质资源为材料,以Hoagland营养液为介质,对2叶期的青稞幼苗进行缺氮和对照2组处理试验,通过对不同处理下青稞幼苗的株高变化量和地上生物量(鲜质量、干质量)对缺氮的响应进行分析,并通过对过氧化物酶(POD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)、过氧化氢酶(CAT)和丙二醛(MDA)活性检测对初选品种进行鉴定。结果表明:缺氮胁迫对不同青稞品种的生长影响存在显著性差异,筛选出耐低氮种质4份(“ZDM4700”“藏1446”“ZDM5713”和“ZDM5766”),不耐低氮种质4份(“藏0603”“藏0801”“ZDM5766”和“昆仑15”)。通过生长指标(株高、根长、地上生物量鲜质量和干质量,地下生物量鲜质量和干质量)和生理指标POD、CAT、APX和CAT活性的检测之后发现,30份耐贫瘠材料和30份缺氮敏感材料MDA、CAT、POD、APX含量之间无显著差异,缺氮敏感材料“ZDM5766”“ZDM5626”“ZDM4618”和“ZDM4394”缺氮培养后MDA和POD含量均高于耐贫瘠材料“ZDM4700”“ZDM4492”“ZDM5724”和“ZQ336”,说明组织遭受逆境伤害的程度大,组织中存在老化、衰弱。缺氮敏感材料CAT含量均低于耐贫瘠材料,说明组织抗氧化防御机理越低。

关键词: 青稞幼苗;耐低氮性;筛选;

Identification and Screening of Low Nitrogen Tolerance in Seedling Stage of Tibetan Highland Barley Germplasm Resources

Zhasang, Wangmu, XU Qi-jun*

(Agricultural Research Institute Tibet Academy of Agricultural and Animal Husbandry Sciences, Tibet Lhasa 850032, China)

Abstract: Bare barley is called highland barley in our Tibetan area. As a staple food of the Tibetan people, it is also the main raw material for live-stock feed, beer, health products and medicine. In order to select low nitrogen and high yield highland barley varieties suitable for cultivation in the western plateau of China, this study was based on 1029 barley germplasm resources, Hoagland nutrient solution. The nitrogen-deficient and control groups of highland barley seedlings in 2-leaf stage were studied. Based on the analysis of plant height variation and aboveground biomass (fresh quality, dry quality) of highland barley seedlings under different treatments, primary cultivars were identified by the detection of peroxidase (POD), APX (ascorbate peroxidase), catalase (CAT), and malondialdehyde (MDA) activities. The results showed that the effect of nitrogen deficiency stress on the growth of different highland barley varieties was significantly different. Four low-nitrogen-tolerant germplasm (ZDM4700, 1446, ZDM5713, ZDM5766), 4 non-tolerant low nitrogen germplasm (Tibetan 0603, Tibetan 0801, ZDM5766, Kunlun 15). Through growth index (plant height, root length, fresh dry weight of aboveground biomass, The aboveground biomass fresh dry weight) and physiological index POD, CAT, APX and CAT activity were detected. However, there was no significant difference between the MDA, CAT, POD, APX content of 30 refractory materials and 30 nitrogen-deficient sensitive materials. The content of nitrogen-deficient sensitive materials ZDM5766, ZDM5626, ZDM4618, ZDM4394 nitrogen-deficient culture MDA, POD higher than that of poor resistant materials. Showing the extent to which the organization suffers from adversity, There is aging and weakness in the tissue. CAT content of nitrogen-deficient sensitive materials was lower than that of barren resistant materials, indicating that the mechanism of tissue antioxidant defense was lower. A significant difference in APX content.

Key Words: highland barley seedling; barren tolerance; screening;

收稿日期:2020年11月4日。基金项目:西藏青稞科技重大专项

作者简介:扎桑(1988-),女,硕士,助理研究员,主要从事青稞遗传育种,E-mail:1459701571@qq.com.*为通讯作者:徐齐君(1984-),女,硕士,副研究员,主要从事青稞遗传育种,E-mail:xqj181009882361@126.com。

裸大麦在我国藏区被称作青稞,作为藏族人民的主食在西藏广泛种植,同时也是主要牲畜饲料、啤酒、保健品和医药的生产原料^[1],占西藏粮食总产的80%以上^[2]。在陆地生态系统中,土壤是植物吸收营养的主要介质,土壤中的氮素含量是限制植物生长的主要因素之一^[3]。氮是植物生长发育所必需的元素,是核酸、氨基酸、蛋白质、叶绿素和部分植物激素的必要组成成分,是作物吸收的第一大必需营养元素,占植株干质量的5%~2%,也是作物生长和产量的主要限制因子^[4]。受自然条件和人为等方面因素限制,青稞生产始终处于极端落后的状态,化肥施用缺乏科学性,致使青稞产量低、品质差肥料利用率低,土壤肥力不断下降,严重制约着当地青稞生产的发展^[5]。刘国一等^[6]认为西藏青稞在施氮量低于281.55 kg/hm²时产量随施氮量增加而增加。氮肥对青稞的生理作用是多方面的,一方面氮素与青稞体内的有机酸合成氨基酸,再由氨基酸进一步合成蛋白质,从而形成各种新生组织。在青稞不同的生育时期以不同的方式追施氮肥对各经济性状的影响是不尽相同的。据研究,青稞一生中吸氮的高峰期在出苗之拔节期,吸氮量占全生育期的75.6%^[7],孕穗之灌浆期是青稞生长发育的另一个关键时期。在日喀则地区生产上,主要以尿素作为追肥来补充春青稞生育期内氮素的不足。当地农民主要以随灌水或雨水撒施为主要的追肥方式,而这种追肥方式化肥会随水而走,容易造成追肥不均匀,并且一部分化肥要被水带走浪费掉。据研究,我国小麦、水稻和玉米对氮肥的利用效率在28%~41%之间^[8]。

有研究亦表明:适量施用氮肥可以显著提高青稞产量,但青稞对氮肥比较敏感,过量施用氮素会使青稞在苗期徒长,分蘖增加,无效分蘖增多;在青稞拔节期使用过量氮肥还会使青稞的第1~2节间快速生长,茎秆缺乏韧性,在灌浆后期易倒伏,影响青稞产量^[9]。所以,对青稞的施肥应适量,要根据种植品种的需肥量、土地的供肥量和土壤水分情况决定化肥用量^[10]。

土壤贫瘠是一个世界性的问题,西藏地区普遍存在土壤贫瘠、施肥少等严重问题,导致农业生产水平低下。其中氮素已经成为限制青稞产量和品质的主要因素之一。

因此培育适应西藏地区土壤贫瘠环境的青稞新品种研究工作任务紧迫。近年来氮肥施用量逐

年增加,但肥料效益却逐年降低,世界氮肥的平均利用率为40%~60%,而我国仅为30%~35%^[11-12]。科学、合理、高效地利用氮肥资源,对提高小麦产量和氮素利用效率、改善小麦品质、减少环境污染负荷具有重要意义^[13-14]。已有研究表明,小麦耐低氮胁迫的能力和氮素的吸收及利用率存在显著的基因型差异^[15-16],但相关研究所用试验材料绝大多数是国内小麦品种,关于国内和国外品种之间耐低氮胁迫和耐高氮伤害的差异研究较少。此外,耐氮胁迫的研究多以产量作为评价耐低氮的主要标准,费工费时。耐氮胁迫的苗期水培法鉴定具有耗时短、容量大、重复性强、易于活体鉴定和环境影响小等优点,目前已经成为筛选评价耐氮胁迫品种差异最常用的方法^[17-19]。因此本试验以1 029份青稞品种为研究对象,以Hoagland^[20]营养液为介质,对2叶期的青稞幼苗进行缺氮和对照2组处理试验,对来自西藏各地的1 029个青稞品种材料进行青稞苗期氮胁迫处理,再对各材料做耐低氮性分级。通过对缺氮和对照组条件下青稞的株高变化量和地上生物量的鲜质量及干质量等指标进行测定和分析,以筛选出耐贫瘠和对缺氮胁迫敏感的青稞品种,从而为探明不同青稞品种在缺氮条件下的生理响应特性提供一定的理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

参试的1 029份青稞品种均来自西藏自治区农牧科学院农业研究所收集的青稞种质资源。

1.2 试验设计

试验在西藏自治区农牧科学院省部共建青稞和牦牛种质资源与遗传改良国家重点实验室灯光室内完成。试验期为2020年4-11月。本试验用水培法控制氮元素的含量,设缺氮和适氮(对照和CK)2个处理。按照Hoagland溶液配方^[20]配制不同营养液。耐氮胁迫的苗期水培法鉴定具有耗时短、容量大、重复性强、易于活体鉴定和环境影响小等优点,目前已经成为筛选评价耐氮胁迫品种差异最常用的方法^[21-22]。

种子处理与幼苗培养的方法:选择饱满的青稞种子,用0.5%高锰酸钾处理种子15 min,然后用蒸馏水漂洗,将洗净的种子放在光照培养箱内进行催芽处理,培养箱内温度为27℃,湿度为60%~70%,黑暗条件下培养1~2 d。待催芽后,选择发芽较为

一致的种子播种到育苗盘(河沙)中,待大部分植株具有2~3片叶时(消耗自身胚乳的营养),转移至营养液中进行培养2周(营养液按照Hoagland配方配制),每3天换一次营养液(保持pH=6.0的稳定性),并定时用气泵充氧;然后进行缺氮胁迫处理,每天拍照记录,耐低氮胁迫处理14 d后开始青稞苗期耐低氮评级。青稞耐低氮分级标准:Ⅰ级,强,死亡率5%以下;Ⅱ级,较强,死亡率5%~15%;Ⅲ级,中,死亡率15%~30%;Ⅳ级,较弱,30%~45%;Ⅴ级,弱,死亡率45%~60%以上。

1.3 测定项目及方法

通过处理初步筛选的30份耐贫瘠和30份缺氮敏感的青稞材料进行生长指标和生理指标的测定。

1.3.1 植株高度

用卷尺分别测量株高(主茎的垂直高度)。在数据处理的方差分析中,株高变化量=对照组株高生长量-缺氮组株高生长量。

1.3.2 地上生物量的测定(鲜质量和干质量)

处理后,将地上生物量分别取样,先在120℃下杀青,然后在80℃下烘干至恒质量^[23]。在数据处理的方差分析中,地上生物量变化量=对照组地上生物量-缺氮组地上生物量。

1.3.3 生理指标测定

分别随机取各处理组青稞叶片,3次重复,测定丙二醛(MDA)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)、过氧化氢酶(CAT)、过氧化物酶(POD)活性等生理指标。MDA,APX,POD,CAT活性均采用试剂盒(南京建成生物工程研究所生产)测定。各指标数据处理的方差分析数值为缺氮组指标-对照组指标。

2 数据处理分析

采用Microsoft Excel 2007进行数据处理和图表绘制,用SPSS22.0软件进行方差分析与多重比较。

3 结果与分析

3.1 1 029份青稞材料表型耐贫瘠性评价

氮胁迫处理14 d后,青稞幼苗生长状况出现显著差异。利用K-均值聚类算法,依据各材料幼苗在氮胁迫下的死亡比例将各材料耐低氮性划分为强、较强、中、较弱、弱5级。本试验按表1所示标准划分青稞幼苗耐低氮性等级,其中强耐低氮性等级材料为9个,占全部材料比例的0.87%;耐低氮性较强的材料占比4.47%;耐低氮性占比43.54%;较弱

占48.49%;弱耐低氮性占2.62%。图1-图2为4份耐贫瘠材料和4份缺氮敏感材料处理14 d之后的青稞长势照,从图中可以看出耐贫瘠材料的长势强于缺氮敏感材料的长势。

表1 青稞苗期耐低氮性等级划分

耐低氮级别	幼苗死亡率/%	材料数/个	耐低氮性
1	0.87	9	强
2	4.47	46	较强
3	43.54	448	中
4	48.49	499	较弱
5	2.62	27	弱

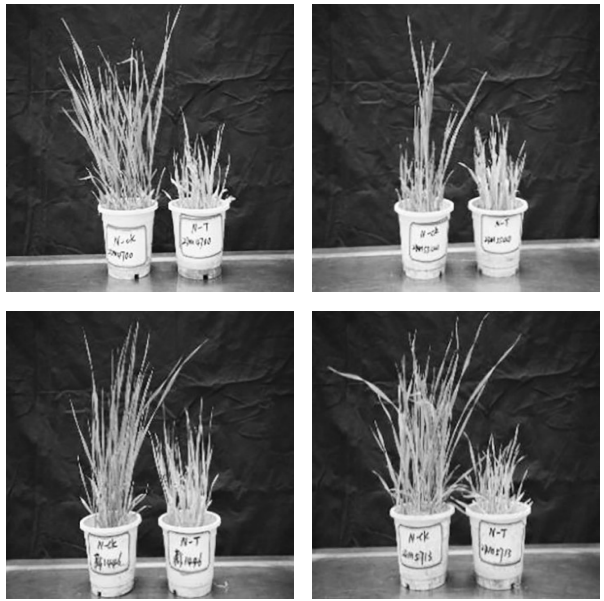


图1 4份青稞耐低氮材料处理14之后表型鉴定照

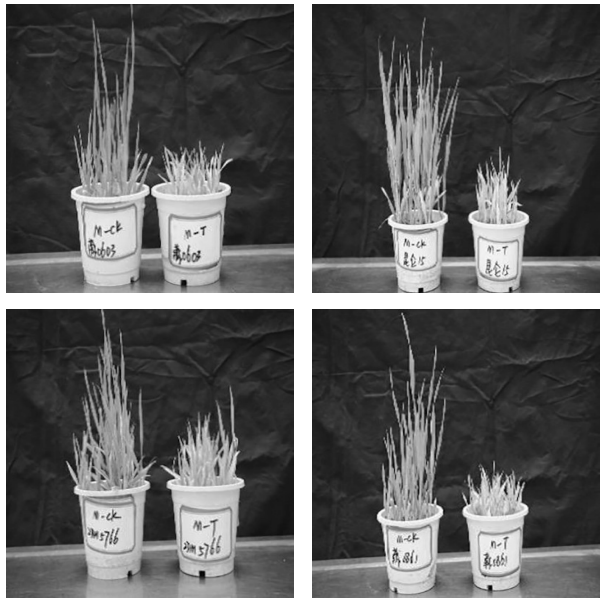


图2 4份青稞缺氮敏感材料处理14后表型鉴定照

3.2 60份青稞品种(系)缺氮胁迫株高、根长变化量

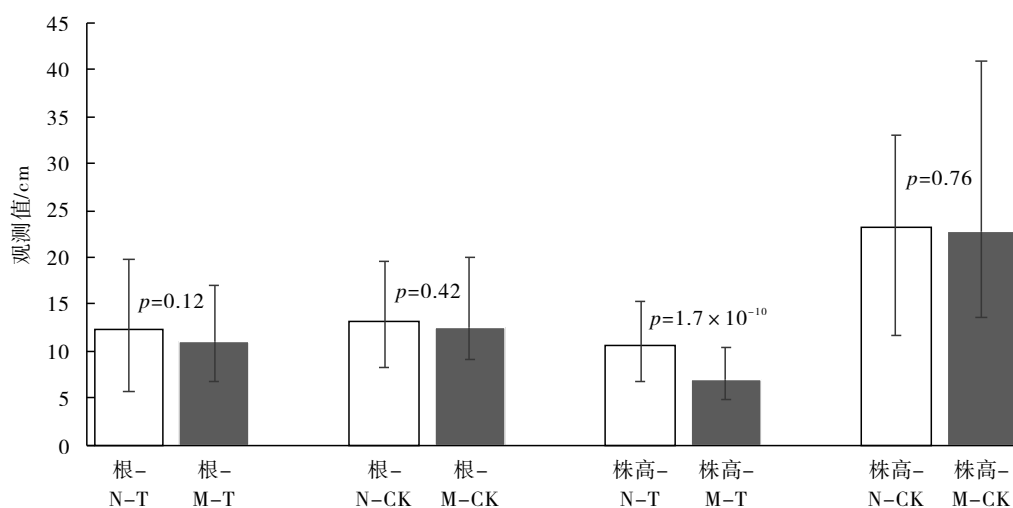
60份材料通过14 d缺氮处理后发现,30份耐贫瘠材料和30份缺氮敏感材料在同一水平缺氮处理条件下,30份耐贫瘠材料的株高、根系均高于缺氮敏感材料。株高、根系变化量越大,说明处理影响越大。也印证了室内鉴定结果:“ZDM4700”“藏1446”“ZDM5713”和“ZDM5766”变化量小,影响小,有一定的耐受性(图1)。

植株高度是反映作物生长状况和评价高产的主要指标之一^[24]。用对照组和缺氮组的株高变化量进行分析,以此选出耐贫瘠的品种和对氮素敏感的品种。根据2组株高均值(图3)和方差分析可知,对照组和缺氮组青稞的植株高度差值存在差异,尤其是缺氮处理条件下对照组的植株高明显高

于缺氮组品种,表明缺氮胁迫对氮敏感品种植株生长的影响较大,即这些青稞对氮素缺失敏感。从图3可以看出对照和缺氮的植株高根系之间差异不明显,但是不管是缺氮处理或对照处理条件,耐低氮材料的根系要大于缺氮敏感材料,表明缺氮胁迫对氮敏感品种植株根系生长的影响较大,即青稞对氮素缺失敏感。

3.3 60份青稞品种(系)缺氮胁迫叶片、根系鲜质量和干质量变化量

60份材料通过14 d天缺氮处理后发现,地上地下叶片、根系鲜质量和干质量变化量越大,说明处理影响越大。60份材料处理后发现,30份耐贫瘠材料的叶片鲜质量和干质量均大于30份缺氮敏感材料,而根系鲜质量和干质量之间的差异不具有统计学意义(图4)。



注:N代表耐贫瘠;M代表缺氮敏感材料;T代表处理;CK代表对照;

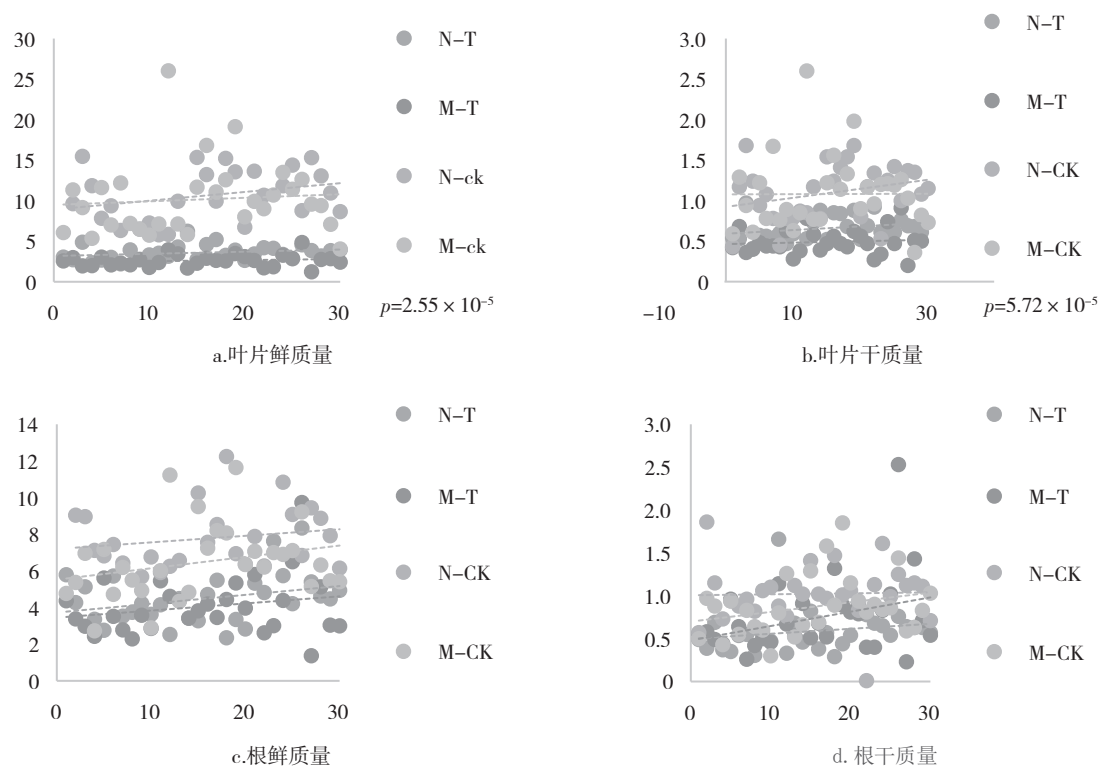
图3 30份耐低氮青稞材料和30份缺氮敏感材料在缺氮处理条件下株高、根长的变化量

生物量干质量和鲜质量是鉴定植物耐贫瘠性的形态指标,一般认为在缺氮条件下,耐贫瘠性强的植株干质量要大一些^[25]。根据对照组和缺氮组青稞地上生物量鲜质量和地上生物量干质量的均值(图4)及方差分析可知,对照组和缺氮组青稞的地上生物量的差值的差异具有统计学意义,30份耐低氮材料在2组处理条件下的叶片干质量和鲜质量均大于缺氮敏感材料的叶片鲜质量和干质量,而60份青稞材料地下生物量鲜质量和干质量之间的差异不具有统计学意义,表明缺氮处理胁迫对青

稞地上生物量的影响更高于地下生物量的影响。其中耐低氮材料“ZDM4700”“藏1446”“ZDM5713”“ZDM576”和“ZDM5544”的对照组的地上生物量的鲜质量和干质量的差值均大于缺氮敏感材料“藏0603”“藏0801”“ZDM5766”和“昆仑15”,而2组处理地下生物量之间的差异不具有统计学意义。

3.4 60份西藏青稞品种(系)缺氮胁迫生理指标鉴定结果

测试了过氧化物酶(POD)、APX(抗坏血酸过氧化物酶)、过氧化氢酶(CAT)和丙二醛(MDA)活



注：N代表什么耐贫瘠；M代表缺氮敏感材料；T代表处理；CK代表对照；

图4 30份耐低氮青稞材料和30份缺氮敏感材料在缺氮处理条件下叶片、根的鲜质量和干质量变化

性。MDA 含量的高低是反映质膜破坏程度和细胞膜脂过氧化作用强弱的重要指标。60 份材料通过缺氮环境处理之后发现,30 份耐贫瘠材料和 30 份缺氮敏感材料 MDA,CAT,POD 和 APX 含量之间差异不具有统计学意义,缺氮敏感材料“ZDM5766”“ZDM5626”“ZDM4618”“ZDM4394”缺氮培养后 MDA, POD 含量均高于耐贫瘠材料 ZDM4492、ZDM5724、ZQ336,说明组织遭受逆境伤害的程度大,组织中存在老化、衰弱。缺氮敏感材料 CAT 含量均低于耐贫瘠材料,说明组织抗氧化防御机理越低。APX 含量之间差异具有统计学意义。

MDA 含量的高低是反映质膜破坏程度和细胞膜脂过氧化作用强弱的重要指标。由表 4 可知,在缺氮胁迫下,缺氮处理组和对照组叶片的 MDA 含量差值存在差异,缺氮敏感材料“ZDM5766”“ZDM5626”“ZDM4618”“ZDM4394”的 MDA 含量均高于耐低氮青稞材料的值。说明青稞材料在缺氮处理条件下组织遭受逆境伤害的程度大,对缺氮胁迫敏感。在耐低氮品种中,“ZDM4700”“ZDM4492”“ZDM5724”“ZQ336”等的缺氮处理组青稞叶中 POD 活性显著高于对照组的。植物在非生物逆境

条件下细胞内部活性氧的含量有所提高,因此会损害生物膜系统,而以上几个品种生物膜损害程度较小,表明 POD 在缺氮胁迫条件下维持青稞细胞中活性氧的代谢平衡起着重要作用。

由表 4 可知,在耐低氮品种中,“ZDM4700”“ZDM4492”“ZDM5724”“ZQ336”的叶片生物膜损害程度较小,且缺氮胁迫青稞叶中 APX 活性高于对照组青稞叶中 APX 的活性。由此可证明,“ZDM4700”“ZDM4492”“ZDM5724”“ZQ336”等品种响应贫瘠环境依靠抗坏血酸过氧化物酶。

此外,由表 4 可知,在缺氮胁迫敏感的品种中,“ZDM5766”“ZDM5626”“ZDM4618”“ZDM4394”的缺氮处理组青稞叶中 CAT 活性明显低于对照组。而 CAT 是清除过氧化氢的主要酶类,由此可知“ZDM5766”“ZDM5626”“ZDM4618”“ZDM4394”品种响应贫瘠环境需要依靠 CAT 酶的调节作用。

通过生长指标和生理指标的测定综合比较分析 30 份耐贫瘠材料和 30 份缺氮敏感材料,试验获得“ZDM4700”“ZDM5544”耐贫瘠性能最好,“ZDM5766”“昆仑 15”为缺氮胁迫敏感型。

表4 30份耐低氮青稞材料和30份缺氮敏感材料在缺氮环境处理后POD,APX,CAT和MDA含量比较

材料	MAD	CAT	POD	APX
M	1.04±0.12	1 355.2±218.27	4.6±0.73	30.91±5.7
N	1.03±0.13	1 374.9±250.29	4.36±0.75	29.07±6.76
P值	0.734 7	0.750 5	0.239 7	0.267 5

注:N代表什么耐贫瘠;M代表缺氮敏感材料。

4 结 论

近年来,由于一些自然条件和人为因素造成了土地资源损失,使土壤贫瘠化,而氮素是土壤中不可或缺的营养元素之一^[26],也是影响作物生长发育及产量形成最重要、最活跃的养分因子之一^[27]。植物在缺氮条件下,含氮物质的合成减少,影响植物细胞的分裂和伸长,从而导致植株矮小瘦弱、叶片变小、叶色变淡,进而影响光合作用对有机物的积累过程,最终影响产量^[28]。不同植物由于对逆境环境的响应不同和自身遗传性的差异会表现出生长速度的差异性^[29]。大量研究表明,地上部与地下部生长量、地上部的鲜质量与干质量、地下部的鲜质量与干质量是衡量植物生产性能和抗性的重要生长指标^[30]。根系生长量、地下部鲜质量和干质量对于氮素的缺失表现出的状态最为明显。此外,生物质干质量是鉴定植物耐贫瘠性的形态指标,一般认为在缺氮条件下,耐贫瘠性强的植株干质量要大一些^[31]。植株高度是反映植物生长状况和评价高产的主要指标之一^[32-33]。因此,本研究中主要以株高变化量、地上生物量的鲜质量及干质量这3个指标作为青稞在缺氮胁迫下耐贫瘠与否的生长指标,在对其耐贫瘠性进行评价的基础上,对筛选得到的差异显著的60个品种(30个耐贫瘠,30个缺氮敏感)进行氧化物酶(POD)、抗坏血酸过氧化物酶(APX)、过氧化氢酶(CAT)和丙二醛(MDA)活性含量测定,用以衡量初筛的准确性。本研究发现,60份青稞在缺氮胁迫下生长指标存在具有统计学意义的差异($p<0.05$),其生长状态部分地反映了60份青稞对贫瘠土壤的适应性,而关于磷、钾及其他元素对青稞的影响有待进一步研究。60份材料通过缺氮环境处理之后发现,30份耐贫瘠材料和30份缺氮敏感材料的MDA,CAT,POD和APX含量之间

的差异不具有统计学意义,缺氮敏感材料“ZDM5766”“ZDM5626”“ZDM4618”“ZDM4394”缺氮培养后MDA和POD含量均高于耐贫瘠材料“ZDM4492”“ZDM5724”“ZQ336”,说明组织遭受逆境伤害的程度大,组织中存在老化和衰弱。缺氮敏感材料CAT含量均低于耐贫瘠材料,说明组织抗氧化防御机理越低。APX含量之间差异具有统计学意义。氮胁迫处理后所有青稞品种叶片APX活性变化敏感,但关于青稞叶片APX活性对氮素的响应机制尚不清楚,还需要在以后加强研究。通过生长指标结合生理指标本试验获得9个苗期强耐低氮性青稞材料和27个苗期弱耐低氮性青稞材料,包括品种“ZDM4700”“藏1446”“藏0603”“昆仑14”等。本试验采用水培法控制氮元素的含量,设缺氮和适氮(对照和CK)2个处理。按照Hoagland溶液配方^[20]配制不同营养液对青稞幼苗进行处理,调查第14d各材料幼苗死亡率,从而获得苗期耐低氮青稞材料。由于作物不同生育时期耐低氮能力不同,接下来还需进行青稞不同生育时期耐低氮性试验,对本试验结果进行验证。

参考文献:

[1] 尼玛扎西. 青稞与高原地区的食物保障: 优势与作用[J]. 西藏农业科技, 1998, 20(2): 20-25.

[2] 强小林, 顿珠次仁, 次 珍, 等. 西藏青稞产业发展现状分析[J]. 西藏农业科技, 2011, 33(1): 1-3.

[3] 韦泽秀, 徐齐君, 扎 桑, 等. 缺氮处理对青稞幼苗生长和生理特性的影响[J]. 大麦与谷类科学, 2017, 34(2): 1-9.

[4] 陆景陵. 植物营养学[M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2003.

[5] 李云祥, 陈殿民. 甘南高寒地区青稞氮磷肥配施效应及效益研究[J]. 土壤通报, 1998, 29(1): 23-25.

[6] 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.

[7] 陈又林. 非物质文化遗产的符号化生存[J]. 重庆广播电视大学学报, 2012, 24(6): 66-69.

[8] 冯聚才. 文化符号与文化软实力[J]. 开封大学学报, 2012, 26(3): 1-4.

[9] 杨瑶君, 富崇伦. 青稞产量构成性状的相关与通径分析[J]. 大麦科学, 1997(4): 8-10.

[10] 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.

[11] 张福锁, 王激清, 张卫峰, 等. 不同基因型小麦苗期和成熟期耐低氮性的比较 1779 国主要粮食作物肥料利用率现状与提高途径. 土壤学报, 45(5): 915-924

- [12] 张福锁, 马文奇. 肥料投入水平与养分资源高效利用的关系[J]. 土壤与环境, 2000, 9(2): 154-157.
- [13] Foulkes M J, Hawkesford M J, Barraclough P B, et al. Identifying traits to improve the Nitrogen Economy of Wheat: Recent Advances and Future Prospects[J]. Field Crops Research, 2009, 114(3): 329-342.
- [14] XU G H, FAN X R, MILLER A J. Plant Nitrogen Assimilation and Use Efficiency[J]. Annual Review of Plant Biology, 2012, 63(1): 153-182.
- [15] 贾永国. 小麦不同基因型高效利用氮素生理生化特性研究[D]. 北京: 中国科学院遗传与发育生物学研究所农业资源研究中心, 2005.
- [16] 安调过. 小麦高效吸收利用氮素的遗传基础研究[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2006.
- [17] 景蕊莲, 吕小平, 朱志华, 等. 小麦幼苗根系形态与反复干旱存活率的关系[J]. 西北植物学报, 2002, 22(2): 35-41.
- [18] 王贺正, 李艳, 马均, 等. 水稻苗期抗旱性指标的筛选[J]. 作物学报, 2007, 33(9): 1523-1529.
- [19] 裴雪霞, 王姣爱, 党建友, 等. 耐低氮小麦基因型筛选指标的研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(1): 93-98.
- [20] 植物遗传资源学报 2017, 18(4): 638-645.
- [21] 景蕊莲, 吕小平, 朱志华, 等. 小麦幼苗根系形态与反复干旱存活率的关系[J]. 西北植物学报, 2002, 22(2): 35-41.
- [22] 王贺正, 李艳, 马均等. 水稻苗期抗旱性指标的筛选[J]. 作物学报, 2007, 33(9): 1523-1529.
- [23] 张芸香, 韩有志, 郭晋平, 等. 华北落叶松二年生苗年生长格局对光照变化的响应[J]. 山西农业大学学报(自然科学版), 2007, 27(2): 113-115.
- [24] 韩清芳, 贾志宽. 紫花苜蓿种质资源评价与筛选[D]. 杨凌: 西北农林科技大学出版社, 2004.
- [25] 王志舒, 景红娟, 韩虎, 等. 缺碳或缺氮对小麦幼苗生长发育的影响[J]. 湖北农业科学, 2015, 54(8): 1822-1824.
- [26] 沈艳, 谢应忠. 牧草抗旱性和耐盐性研究进展[J]. 宁夏农学院学报, 2004, 25(1): 65-69.
- [27] 文子祥, 屈建军, 张伟民. 晋陕蒙接壤区土地退化类型及其评价[J]. 中国沙漠, 1994, 14(2): 90-94.
- [28] 郭二辉, 胡聘, 田朝阳, 等. 土壤氮素与水分对植物光合生理生态的影响研究[J]. 安徽农业科学, 2008, 36(26): 11211-11213.
- [29] 杨京平, 姜宁, 陈杰. 水稻吸氮量和干物质积累的模拟试验研究[J]. 植物营养与肥料学报, 2002, 8(3): 318-324.
- [30] 武自念. 苜蓿在我国江淮地区的生长特性及适应性研究[D]. 兰州: 甘肃农业大学, 2010.
- [31] DAI F, NEVO E, WU D Z, et al. Tibet is one of the Centers of Domestication of Cultivated Barley[J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2012, 109(42): 16969-16973.
- [32] 王立如, 郑金土, 徐永江, 等. 箱式根域限制对美人指葡萄根系生长的影响[J]. 中外葡萄与葡萄酒, 2008(2): 17-19.
- [33] 陈小荣, 黄磊, 钟蕾, 等. 氮素亏缺对超级杂交早稻生长发育、产量形成及氮肥利用的影响[J]. 核农学报, 2015, 29(7): 1427-1435.