

低氮对苦荞苗期土壤碳转化酶活性的影响

陈伟¹, 杨洋¹, 崔亚茹¹, 孙从建¹, 张永清^{1,2}

(1. 山西师范大学地理科学学院, 山西 临汾 041000; 2 山西师范大学生命科学学院, 山西 临汾 041000)

摘 要:为探究不同耐氮性苦荞在苗期土壤碳转化相关酶活性对低氮胁迫的响应,采用盆栽试验,选用迪庆苦荞(耐氮能力强,DQ)和黑丰 1 号(耐氮能力弱,HF)两个不同耐氮性苦荞品种,设不施氮(CK)、低氮处理(N1)和正常供氮(N2)3 种不同施氮量处理,对苦荞苗期土壤理化性质和 3 种碳转化酶活性进行研究。结果显示:(1)低氮胁迫下迪庆苦荞具有一定的品种优势,其株高、茎粗、叶面积、土壤有机碳、速效氮(铵态氮和硝态氮)均明显高于黑丰 1 号,土壤含水量和 pH 值低于黑丰 1 号。(2)氮肥处理和品种均对苦荞土壤碳转化相关酶活性产生显著的影响。低氮处理下迪庆苦荞土壤中的单糖酶(β -葡萄糖苷酶)活性和二糖酶(蔗糖酶)的活性显著高于黑丰 1 号,迪庆苦荞的单糖酶比黑丰 1 号高了 58.3%,二糖酶为黑丰 1 号的 3.3 倍;而在常氮处理下则为迪庆苦荞低于黑丰 1 号,分别低了 19.7%和 42.8%。在不同氮处理下迪庆苦荞分泌更多的多糖酶(纤维素酶),3 种氮处理下酶活性分别比黑丰 1 号高 66%,40%和 22%。综上分析,耐低氮能力强的苦荞品种可以通过调节土壤酶活性来适应低氮的生长环境,并可能通过此种方式来改变其对碳源的偏好。

关键字:苦荞;低氮;苗期;土壤; β -葡萄糖苷酶;蔗糖酶;纤维素酶

中图分类号:S154.1;S517 **文献标志码:**A

The effect of nitrogen stress on carbon invertase enzyme activities
in tartary buckwheat seedling stage

CHEN Wei¹, YANG Yang¹, CUI Ya-ru¹, SUN Cong-jian¹, ZHANG Yong-qing^{1,2}

(1. College of Geographical Sciences, Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi 041000, China;

2. College of Life Sciences, Shanxi Normal University, Linfen, Shanxi 041000, China)

Abstract: In order to investigate the carbon invertase enzymes activities under different nitrogen (N) tolerant tartary buckwheat to low N stress in seedling stage, using Diqing tartary buckwheat (low N tolerance, DQ) and Heifeng No. 1 (low N sensitive, HF) as materials. The study was carried out in a pot experiment to evaluate the different N treatments of no N (CK), low N (N1) and normal N (N2) as the treatments. The physicochemical properties and three carbon invertase activities of tartary buckwheat seedlings were measured. The results showed that: (1) DQ had species advantages under low N stress. Plant height, stem diameter, leaf area, soil organic carbon and available N were significantly higher than that of HF, while soil moisture content and pH were lower than that of HF. (2) Both N fertilizer treatments and cultivars had significant effects on the activities of carbon related enzymes involved in the transformation in tartary buckwheat growing soil. The activities of the monosaccharide hydrolase (β -glucosidase) and disaccharidease hydrolase (sucrose) in DQ were significantly higher than that of HF under low N treatment, the monosaccharide enzyme of DQ was 58.3% higher than that of HF, and the disaccharide enzyme was 3.3 times higher than that of HF. Under normal N treatment, both enzyme activities with DQ were 19.7% and 42.8% lower than that with HF, respectively. Under different N treatments, DQ secreted more polysaccharide enzymes (cellulase) and were 66%, 40% and 22% higher than HF under 3 N treatments, respectively. In

收稿日期:2018-06-05 修回日期:2019-04-08

基金项目:国家自然科学基金(41601317,31571604);山西省高等学校研究生教育改革项目(2018JG57);山西省高等学校教学改革创新项目(J2019093);山西师范大学教改项目(2018JGXM-08)

作者简介:陈伟(1987-),女,辽宁铁岭人,博士,副教授,主要从事土壤酶学研究。E-mail: wan_xin_chen@126.com

通信作者:孙从建(1986-),男,河北沧州人,副教授,博士,主要从事同位素水文学及土壤水分利用研究。

summary, the varieties of tartary buckwheat with strong ability to tolerate low N can adapt to the low N growth environment by regulating the soil enzyme activities, and may change their preference for carbon sources in this way.

Keywords: tartary buckwheat; low nitrogen; seedling stage; soil; β -glucosidase; sucrase; cellulase

碳是构成植物和微生物生命体最重要的基础元素,在根际系统中所占比重最大,转化过程也比较复杂^[1],很大程度上决定着根际系统运转的方向与强度。施用氮肥对土壤碳素转化积累有一定影响,能促进土壤有机碳库的积累^[2]。王慧等^[3]研究证明,合理施用氮肥可以有效促进黄土高原旱地 0~20 cm 土层土壤有机碳、有机氮积累,提高土壤氮素矿化能力,降低氮素矿化速率,可以有效提高旱地土壤有机氮、有机碳含量和土壤供氮能力。杨场等^[4]认为施入适量的氮肥可以改善寒区盐碱地的土壤理化性质,促进土壤微生物的生长,从而改善土壤质量。夏雪等^[5]的研究证明氮肥的施用可以提高土壤微生物群落碳源利用率、微生物群落的丰富度和功能多样性。而碳素的存在是促进土壤氮素转化的相关因素^[6]。碳素对土壤氮素的转化速率也有一定影响^[7],研究表明,葡萄糖的添加使土壤微生物对无机氮素固持作用显著增强,无机氮向有机氮的转化速率也相应提高^[6]。土壤酶参与了土壤环境中的生物化学过程,是土壤中的生物催化剂^[8],也是土壤有机体的代谢动力,与有机物质分解、能量转移等密切相关^[9-10],其活性比较敏感,一定程度上反映土壤的状况^[11]。土壤酶活性与土壤肥力的关系十分密切^[12]。安婷婷等^[13]研究表明,小麦根际土壤特性可以通过改善土壤酶活性,从而促进土壤氮素的顺利转化和供应,提高根系生长和植株养分的吸收。土壤 β -葡糖苷酶、土壤蔗糖酶与土壤纤维素酶均可表征土壤碳转化循环速率,可作为指标表征其影响。目前,关于低氮胁迫对作物的影响已有较多研究,但大多数研究集中在作物的生理响应、作物适应性、产量等地上部分,对于作物的不同品种在低氮胁迫下响应机制研究较少。

植物在逆境条件下能够感应外界胁迫,并通过自身调节系统使之在生理和形态上发生应激反应,以增强在胁迫条件下的生存机会,而且不同作物及同一作物不同品种对逆境的适应性有很大的差异^[14-16]。植物根系通过吸收和分泌作用改变了根际土壤的环境条件,进而影响植物养分的有效性及其吸收转化^[17]。有研究表明植物在逆境环境下根系向土壤中的分泌物发生改变,且不同耐性的品种表现出不同的碳源选择偏好,如耐瘠性的品种更倾向于利用结构简单的碳源,而敏感品种更倾向于利

用结构相对复杂的碳源^[18]。有研究表明种子成熟期 80% 的氮素供给来自开花前植物体内养分的积累及后期在体内的转移^[19],玉米花前营养器官氮素转运对籽粒氮素累积贡献率为 42%~62%^[20],所以作物开花前即苗期的土壤养分供给研究尤为重要。李敏等^[21]研究表明,与低产作物品种相比,高产作物品种具有苗期氮素积累快的特点。隋鹏祥等^[22]的研究表明,施氮能显著提高花前氮素转运率和转运量,且随着施氮量的增多氮素积累逐渐增大,但施氮量超过一定量后,氮素积累差异不显著。Chen 等^[23]研究表明,逆境胁迫下土壤养分循环中酶起到的调节作用显著大于微生物。苦荞是自然界中甚少的药食两用作物,苦荞不仅拥有很高的营养价值、药用价值及保健功能^[24],对于一些逆境环境也有一定的自我调节功能,不同苦荞品种对于养分的利用以及在逆境下的响应机制是否有所差异?是否也存在碳源选择偏好?本研究拟通过两种不同耐氮性苦荞品种,设计不同施氮量的盆栽试验,对苦荞苗期土壤碳转化酶(单糖酶: β -葡糖苷酶;二糖酶:蔗糖酶;多糖酶:纤维素酶)活性进行分析研究,以期对苦荞的优质高效生产提供指导。

1 材料与方法

1.1 供试材料

供试土壤为黄土母质上发育而成的褐土,土壤 pH 值为 7.75,土壤有机质为 $2.07 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,有机碳含量为 $1.2 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$,铵态氮含量为 $0.39 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$,硝态氮含量为 $0.23 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 。供试作物为耐氮能力强的迪庆苦荞(DQ)和耐氮能力弱的黑丰 1 号(HF)^[25],迪庆苦荞由迪庆藏族自治州农业科学研究所提供,黑丰 1 号由山西省农业科学院高寒作物研究所提供。两个品种生育期无明显差异,均为 105 d 左右。

1.2 试验设计

试验于 2017 年 5-8 月在山西师范大学塑料大棚里进行。采用盆栽试验,营养钵大小为 $35 \text{ cm} \times 35 \text{ cm}$,每盆均装入 10 kg 黄土。试验采取二因素完全随机设计,因素 A 为不同耐氮性苦荞品种:迪庆苦荞和黑丰 1 号;因素 B 为不同氮素处理水平:对照(CK,不施氮肥)、低氮处理(N1, $0.8 \text{ g} \cdot 10 \text{ kg}^{-1}$)和正常供氮(N2, $1.6 \text{ g} \cdot 10 \text{ kg}^{-1}$)。共有 6 种处理组合,每个处理均重复 4 次。氮肥为尿素(含氮量

46.4%)，其中磷肥 (P_2O_5 , 150 $mg \cdot kg^{-1}$) 和钾肥 (K_2O , 60 $mg \cdot kg^{-1}$) 均作为底肥施用,将肥料与黄土充分混匀,所有肥料均为一次性施入。每盆精选 16 粒饱满均匀无病虫害的苦荞种子,经过蒸馏水冲洗干净后放置在装有清水的烧杯中,浸泡 24 h 后于 2017 年 5 月 8 日均匀播种后正常浇水,所有盆栽每日等量浇入 400 mL 水以保证正常生长。为尽可能减少气候对试验的影响,试验期间如遇雨天加盖塑料薄膜以防雨,气温超过 30℃ 时会在中午加盖遮阳网以避免温度过高对试验的影响。

苦荞苗期(2017 年 6 月 3 日)从各处理随机挑选 3 株,靠近苦荞根际小心将苦荞整株采出,并收集深度为 0~10 cm 的土壤。土壤样品一部分除杂质后过 1 mm 尼龙筛,4℃ 冰箱内保存,用来测定土壤氨态氮、硝态氮以及酶活性;另一部分风干后除杂质过筛,用来测定土壤 pH 值、有机碳等理化指标。

1.3 测定指标及方法

1.3.1 苦荞形态指标 用直尺测定株高;茎粗用游标卡尺测定;叶面积采用 Li-3000 便携式叶面积仪测定。

1.3.2 土壤理化指标 土壤含水量采用 105℃ 烘干法测定;土壤 pH 值在水土比为 1 : 2.5 下进行测定;土壤有机碳采用重铬酸钾加热法测定^[26]。土壤速效氮(NO_3^- 和 NH_4^+) 在 25℃ 条件下用 2 $mol \cdot L^{-1}$ 氯化钾浸提后用全自动连续分析仪 (Autoanalyzer III, BRANLUEBBE) 测定。

1.3.3 蔗糖酶 以 8% 蔗糖溶液为底物,土样在 37℃ 下培养 24 h 后离心,取 1 mL 上清液后加入 3 mL DNS 试剂,沸水浴加热 5 min,显色,冷水浴中冷却至室温并定容至 50 mL,在 508 nm 的条件下比色测定还原糖^[12]。

1.3.4 纤维素酶 以 1% 羧甲基纤维素溶液为底物,将土样在 37℃ 下培养 72 h 后离心,取 1 mL 上清液后加入 3 mL DNS 试剂,沸水浴加热 10 min 显色,冷水浴中冷却至室温并定容至 25 mL,在 540 nm 的条件下比色测定还原糖^[12]。

1.3.5 β -葡萄糖苷酶 用缓冲的对硝基苯- β -D 葡萄糖苷为底物,土样在 37℃ 下培养 1 h,生成的对硝基酚与碱性 THAM 缓冲液显色,用比色法测定。

1.4 数据统计与分析

采用 Microsoft Excel 2007 进行处理;使用 SPSS 18.0 软件进行裂区分析,采用单因素 (ANOVA) 方差分析,用 Duncan's 对不同处理间进行多重比较来判断差异显著性 ($P<0.05$),采用 CANOCO 4.5 软件进行主成分分析;用 Origin 8.0 作图。

2 结果与分析

2.1 低氮处理对不同耐氮性苦荞苗期形态指标的影响

由表 1 可知,不同氮处理对 HF 的株高有一定影响,N1 和 N2 处理的株高与 CK 处理的株高存在显著差异 ($P<0.05$),N1 和 N2 处理分别比 CK 处理高 30.2% 和 32.8%。同一氮处理下的两种苦荞之间株高无显著差异。HF 的茎粗在 N2 与 CK 处理之间存在显著差异 ($P<0.05$),CK 处理下茎粗最小,为 2.84 mm, N2 处理下的茎粗最大,CK 较 N2 低 17.2%;在 CK 和 N1 处理下 DQ 茎粗显著高于 HF,两种处理分别比 HF 高了 23.6% 和 25.3%。N1 和 N2 两种处理下,两种苦荞的叶面积显著高于 CK, HF 分别比 CK 高 84.2% 和 84.9%,DQ 则分别比 CK 高 119% 和 136%。HF 与 DQ 均表现为随施氮水平的提高株高、茎粗和叶面积逐渐增大,且同一氮处理下 HF 的各项形态指标均小于 DQ。综上可见,氮肥的添加可以有效促进苦荞株高、茎粗和叶面积的生长,耐氮性强的苦荞表现出品种优势,在低氮胁迫下具有更强的耐性,长势更好。

2.2 低氮处理对不同耐氮性苦荞苗期土壤理化性质的影响

在苦荞苗期,品种和氮处理及两者之间的交互作用均对土壤含水量和土壤速效氮 (NO_3^- 和 NH_4^+) 产生了显著的影响 ($P<0.05$) (表 2)。据表 1 可知,两种苦荞均表现为低氮处理下土壤含水量最低, HF 为 19.81%, DQ 为 14.82%。HF 的低氮处理显著低于对照和常氮处理,分别低了 27.4% 和 24.2%, DQ 也分别低了 8.7% 和 14.3%;3 种氮处理下 DQ 的土壤含水量均显著低于 HF ($P<0.05$),对照、低氮和正常供氮 3 种处理下 DQ 相较于 HF 土壤含水量分别低了 40%、25% 和 34%,这表明了在低氮胁迫下耐氮性强的苦荞获取水分的能力更强,增强其耐瘠性从而保证苦荞的正常生长。两种苦荞不同氮处理之间的土壤速效氮含量均存在着显著差异 ($P<0.05$)。N1 和 N2 处理下两种苦荞的土壤铵态氮含量均显著高于 CK, HF 分别高了 119.2% 和 137.3%, DQ 则分别高了 23.5% 和 47.4%。两种苦荞的土壤铵态氮含量均表现为随着施氮量的增多逐渐增加, HF 的土壤硝态氮也表现为随着施氮量的增多逐渐递增,而 DQ 则为在 N1 处理下土壤硝态氮含量最高,为 2.2 $mg \cdot kg^{-1}$, 分别比 CK 和 N2 处理高了 99% 和 14%。CK 处理中 DQ 的土壤铵态氮显著高于 HF, N1 处理下 DQ 的土壤硝态氮显著高于 HF, N2 处理则表现为 DQ 显著低于 HF ($P<0.05$)。品种对苦荞

土壤 pH 值和有机碳产生极显著的影响 ($P<0.01$), 氮处理对土壤 pH 值和有机碳也有显著影响 ($P<0.05$) (表 2)。3 种氮处理下 DQ 的土壤 pH 值显著低于 HF ($P<0.05$), 对照、低氮和正常供氮 3 种处理下 DQ 的土壤 pH 值较 HF 分别低了 1.5%、1.4% 和 1.8%。两种苦荞均为在低氮处理下土壤有机碳含量最低, HF 为 $1.4\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$, DQ 为 $1.83\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ 。两种苦荞在同一氮处理下土壤有机碳含量存在显著差异 ($P<0.05$), 均表现为 DQ>HF, DQ 的对照、低氮和正常供氮 3 种氮处理比 HF 分别高了 19.6%、30.4% 和 19.7%。综上, 耐氮性强的苦荞具有品种优势, 在低氮胁迫下土壤中易利用的氮素和碳素较多, 为苦荞的正常生长提供更多养分。

2.3 低氮处理对不同耐氮性苦荞苗期土壤酶活性的影响

氮处理、品种及其交互作用均对苦荞土壤 β -葡

糖苷酶和蔗糖酶产生极显著影响, 品种及其与氮处理的交互作用对纤维素酶也产生了极显著的影响 ($P<0.01$) (表 2)。由图 1(a) 可以看出, 同一氮处理下两种苦荞的土壤 β -葡糖苷酶活性均存在显著差异 ($P<0.05$), 在 CK 和 N1 处理下均表现为 DQ>HF, 而在 N2 处理下则表现为 HF>DQ, 且 HF 在 N2 处理下表现为酶活性最高。CK 和 N1 处理下 DQ 较 HF 分别增加了 11.6% 和 58.3%, N2 处理下 DQ 比 HF 低了 19.7%。HF 的 N2 处理显著高于其余两种氮处理, 分别比 CK 和 N1 高了 92.1% 和 94.2%; DQ 施氮肥的处理 (N1 和 N2) 显著高于 CK, 分别高了 40.2% 和 38.2%。可见, 施氮肥可以显著提高苦荞的土壤 β -葡糖苷酶活性。由图 1(b) 可知, 两种苦荞之间的土壤蔗糖酶均存在显著差异, HF 3 种氮处理下的土壤蔗糖酶活性之间均存在显著差异, DQ 的 N1 处

表 1 不同氮处理下苦荞苗期形态及土壤理化指标
Table 1 Morphology and soil physicochemical indexes of different varieties of tartary buckwheat seedling stage under different N treatment

项目 Project	黑丰 1 号 Heifeng No.1 (HF)			迪庆苦荞 Diqingkuqiao (DQ)		
	CK	N1	N2	CK	N1	N2
株高/cm Plant height	31.45±0.26Ab	40.94±0.64Aa	41.77±1.01Aa	38.27±1.04Aa	41.02±0.53Aa	42.23±0.58Aa
茎粗/mm Stem diameter	2.84±0.37Bb	2.96±0.34Bab	3.43±0.30Aa	3.51±0.20Aa	3.71±0.50Aa	3.73±0.68Aa
叶面积/mm ² Leaf area	368.97±25.36Ab	679.62±28.70Aa	682.29±23.01Aa	375.38±25.78Ab	822.30±29.57Aa	886.73±21.80Aa
土壤含水量/% Soil moisture content	27.28±2.33Aa	19.81±1.88Ab	26.13±1.88Aa	16.23±1.16Bab	14.82±1.47Bb	17.30±1.76Ba
土壤酸碱度 Soil pH value	7.82±0.03Aa	7.81±0.07Aa	7.77±0.05Aa	7.71±0.05Ba	7.70±0.04Ba	7.63±0.04Bb
土壤有机碳/(g·kg ⁻¹) Soil organic carbon	1.69±0.12Ba	1.40±0.20Ba	1.69±0.23Ba	2.02±0.09Aa	1.83±0.22Aa	2.02±0.18Aa
土壤铵态氮/(mg·kg ⁻¹) Soil NH ₄ ⁺ -N	1.36±0.14Bb	2.98±0.27Aa	3.23±0.12Aa	2.28±0.26Ac	2.82±0.10Ab	3.37±0.19Aa
土壤硝态氮/(mg·kg ⁻¹) Soil NO ₃ ⁻ -N	1.06±0.17Ac	1.48±0.16Bb	2.13±0.08Aa	1.11±0.13Ac	2.20±0.07Aa	1.93±0.12Bb

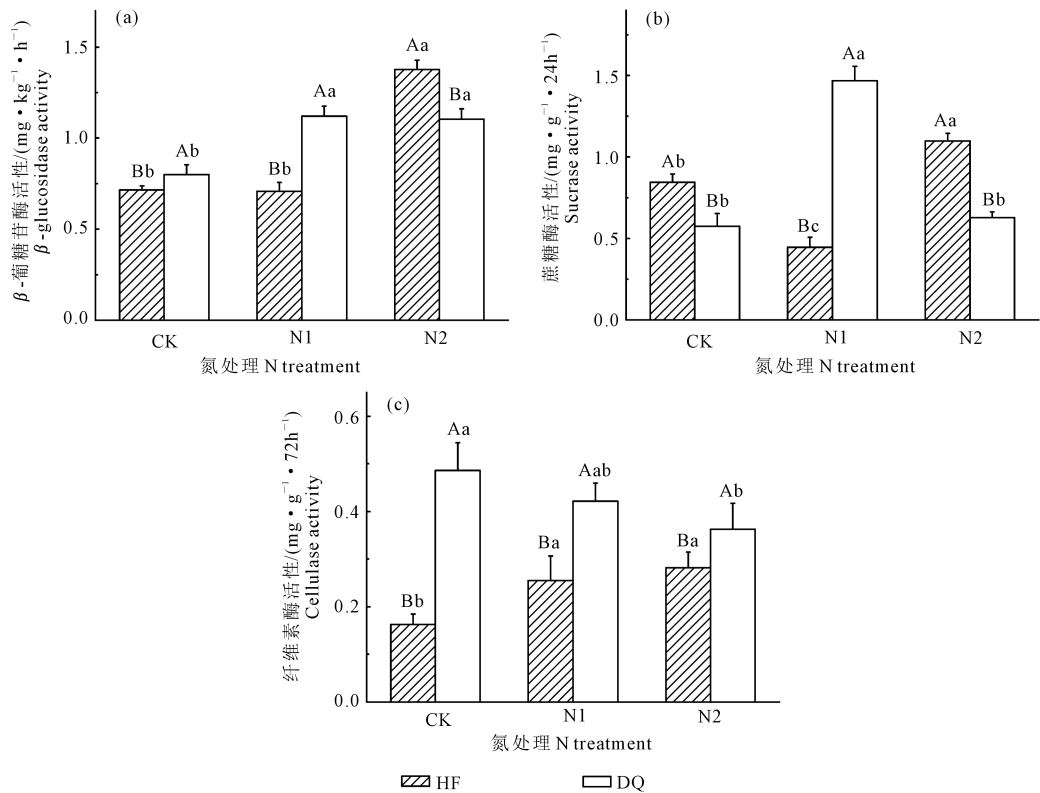
注: 表中数据为平均值±标准差。不同大写字母表示同一氮处理不同品种在 $P<0.05$ 水平差异显著, 不同小写字母表示同一品种不同氮处理在 $P<0.05$ 水平差异显著。CK—不施氮肥, N1—低氮处理, N2—正常供氮处理, 下同。

Notes: Data in the table are mean ± standard deviation. The different uppercase letters represent different varieties significantly different in the probability level of $P<0.05$ under the same treatments; different lowercase letters indicate that the different treatments have significant differences in the probability level of $P<0.05$ with same variety. CK—no nitrogen fertilizer, N1—low nitrogen treatment, N2—normal nitrogen treatment, the same below.

表 2 苦荞苗期不同品种及氮处理土壤理化指标裂区分析
Table 2 Analyses of soil chemical and physical indexes of tartary buckwheat seedling stage

因素 Factors	含水量 Moisture content	pH 值 pH value	有机碳 Organic carbon	铵态氮 NH ₄ ⁺ -N	硝态氮 NO ₃ ⁻ -N	蔗糖酶 Sucrase	纤维素酶 Cellulase	β -葡糖苷酶 β -glucosidase
氮处理 N treatment	* *	*	*	* *	* *	* *	ns	* *
品种 Variety	* *	* *	* *	* *	* *	* *	* *	* *
氮处理×品种 N treatment×variety	*	ns	ns	* *	* *	* *	* *	* *

注: * 表示有显著影响, * * 表示有极显著影响, ns 表示影响不显著。
Notes: “*” indicates significant effects ($P<0.05$). “*” indicates very significant effects ($P<0.01$). “ns” is not significant effects.



注 Note: HF—黑丰 1 号 Heifeng No.1; DQ—迪庆苦荞 Diqingkuqiao. 下同。The same below.

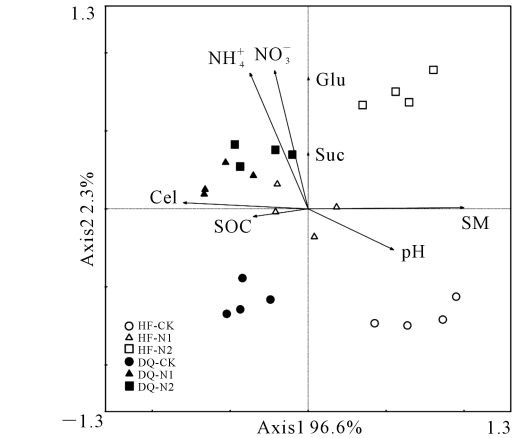
图 1 不同氮处理下不同苦荞品种苗期根际土壤碳转化酶活性

Fig.1 Three carbon invertase activities in rhizosphere soils of different varieties of tartary buckwheat during the seedling stage under different N treatments

理显著高于其余两种氮处理 ($P<0.05$)。N1 处理下 DQ 为 HF 的 3.3 倍,其余两种氮处理下均表现为 $\text{DQ}<\text{HF}$ 。HF 的 N1 处理酶活性最低,为 $0.44 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,比 CK 和 N2 处理分别低了 47.4% 和 59.5%;DQ 则正好相反,在 N1 处理下酶活性最高,为 $1.47 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$,分别是 CK 处理和 N2 处理的 2.55、2.34 倍。由图 1(c) 可知,同一氮处理下两种苦荞之间的土壤纤维素酶活性均存在显著差异 ($P<0.05$),且均表现为 $\text{DQ}>\text{HF}$,3 种氮处理下 DQ 较 HF 分别增加了 66%、40% 和 22%。随着土壤中施氮量的增加,HF 的土壤纤维素酶活性表现出逐渐增加的趋势,而 DQ 则为逐渐递减。HF 施氮肥 (N1 和 N2) 的处理均显著高于对照,分别比 CK 高了 56.6% 和 72.9%。DQ 的 N2 显著低于 CK 29.2%。综上可知,在低氮胁迫下耐氮性强的苦荞由于品种优势,根系会分泌更多的碳转化酶,为苦荞生长提供更多的碳源。

2.4 低氮对不同苦荞品种苗期土壤碳转化酶活性及理化性质影响的主成分分析

主成分分析结果表明,不同苦荞品种与不同氮处理对土壤的各项指标均有影响。图 2 显示横轴和



注 Note: Suc—蔗糖酶 sucrose; Cel—纤维素酶 cellulase; Glu; β -葡萄糖苷酶 β -glucosidase; SM—土壤含水量 soil moisture content; pH—土壤 pH 值 soil pH; SOC—土壤有机碳 soil organic carbon; NH_4^+ —铵态氮 soil NH_4^+-N ; NO_3^- —硝态氮 soil NO_3^--N .

图 2 不同氮处理下 2 个苦荞品种苗期土壤酶及理化性质的主成分分析

Fig.2 Principal components analysis (PCA) of soil enzymes and physicochemical properties of tartary buckwheat seedlings under different nitrogen treatments

竖轴分别可以解释 96.6% 和 2.3% 的变异程度。由图 2 可知,横轴可以将不同的氮处理很好地分开, HF 和 DQ 的 CK 处理与其余两种处理可用一轴区分,说明两个品种的 CK 处理与其余两种处理之间存在明显差异。竖轴可以很明显地将两种苦荞品种分开,说明土壤酶活性及理化性质因苦荞的品种差异而有明显的不同。土壤各指标之间均存在不同程度的相关性。3 种酶与土壤速效氮 (NO_3^- 和 NH_4^+) 之间均呈现较好的正相关关系,而与土壤 pH 值及含水量表现出负相关。有机碳与纤维素酶之间表现出正相关关系,但与 β -葡萄糖苷酶和蔗糖酶呈现出负相关关系。

3 讨论

在农业生态系统中,碳循环是作物养分有效性中的重要一环,土壤中的碳供应缺失可能会影响到其它养分的有效性,进而可能会导致农产品产量与品质的下降^[27]。土壤酶在土壤生态系统中很活跃,在营养物质转化与有机质分解等方面起着很重要的作用^[19],其活性反映了土壤中各种生物化学过程的强度和方向,是土壤质量和生态系统健康的重要指标。施肥可以通过改善土壤养分状况以及促进作物发育而影响土壤酶活性。适量施用 N、P、K 等无机肥料和长期有机与无机肥配施都能显著提高土壤酶活性^[28],进而提高农田生态系统的生产力。

3.1 低氮胁迫下苦荞苗期形态特征

本研究中,同一氮处理下耐低氮苦荞品种的株高、茎粗、叶面积均大于不耐低氮苦荞品种,可能是在低氮胁迫下,苦荞会通过自身的一些生理生化调节以更好地适应低氮环境。株高、茎粗、叶面积反映苦荞的生长状况,同一品种的苦荞株高、茎粗、叶面积均随着施氮水平的提高而逐渐增大。张楚等^[29]研究表明,低氮胁迫下苦荞幼苗叶片面积显著下降,耐低氮苦荞品种在低氮环境中具有更好的地上部生长形态,受低氮影响较小,适应性更强。白文琴^[30]研究表明随着氮肥用量的增多苦荞株高呈现出增加的趋势,同时充足的氮素会促进苦荞细胞的分裂与增长,进而促进苦荞叶面积的增大,与本研究结果基本一致。

3.2 低氮胁迫下苦荞苗期土壤理化性质特征

本研究中,同一处理下迪庆苦荞土壤含水量均小于黑丰 1 号,这可能是因为迪庆苦荞能够通过促进主根伸长从而增加根系吸收范围,增强作物对土壤水分的吸收能力,溶解在土壤水分中的养分也会随着苦荞对水分的吸收而相应地进入植株体内供

其生长发育,同时通过吸收大量水分进行植物的光合作用以更好地适应低氮胁迫。路之娟等^[31]研究表明,在正常供水下,迪庆苦荞的主根长、根体积、根表面积、根冠比及根系干重均大于黑丰 1 号,且苦荞苗期的叶片相对含水量、叶绿素以及叶片荧光参数 F_0 、 F_m 、 F_v/F_m 均表现为 $\text{DQ} > \text{HF}$,迪庆苦荞表现出更强的根系吸收能力与光合能力;张楚等^[29]的研究表明,在低氮胁迫下苦荞也有同样的规律。两种苦荞均为低氮处理下有机碳含量低于常氮处理,可能是因为土壤有机碳含量会随着施氮量增加而增加,李小涵等^[32]的研究结果与本研究一致。作物吸收利用的氮素主要是矿质态氮(铵态氮/硝态氮),因此研究施氮对其含量的影响可清晰地认识氮肥在土壤养分状况方面的作用。研究表明 NH_4^+ 是微生物的有效氮源,当向土壤中添加 NH_4^+ 时,微生物受氮素的限制解除,能够利用加入的氮素快速合成自身有机体的一部分^[33]。本研究中土壤铵态氮的含量随施氮量的增加而增多,说明随着氮肥的增多,铵态氮含量增高,土壤中可利用的氮素越多,可以促进植物的吸收利用和氮素积累。当向土壤中添加氮源时,微生物会利用外加氮源合成自身的细胞壁物质,并且高氮处理胞壁酸含量高于低氮处理,随施氮量的增加更有利于以胞壁酸为代表的微生物在土壤中的积累,土壤微生物是土壤氮素转化的枢纽,是土壤氮素循环最基本的驱动力^[33]。土壤硝态氮是硝化作用的产物,是作物易利用的氮源^[19],耐低氮能力强的苦荞品种在低氮处理时硝态氮含量最高,说明其在低氮胁迫下土壤硝化作用可能较为强烈,产生了更多的硝态氮以供植物吸收利用;而不耐低氮的苦荞品种土壤硝态氮含量随着施氮水平的增多而增加,可能是由于苦荞之间的品种差异,Liang 等^[34]和云鹏等^[35]的研究均表明施氮能显著提高土壤中速效氮的含量,屈佳伟等^[36]的研究表明玉米因品种间的差异导致土壤硝态氮含量的差异。

3.3 低氮胁迫下苦荞苗期不同品种碳源选择偏好

β -葡萄糖苷酶是单糖酶,它能降解真菌细胞壁作为氮源和碳源,也是纤维素降解过程中参加限速步骤的酶;蔗糖酶为二糖酶,可以利用低分子量底物,蔗糖酶活性的高低也可以表征土壤中碳循环速度^[37];纤维素酶为多糖酶,可以分解土壤中的纤维素。土壤中碳酶分解生成的葡萄糖作为土壤微生物的可用能量和碳源,可以引发土壤微生物活动和生长,增加了无机氮的固定,并且具有较低的氮矿化速率,可以促进植物体对氮素的吸收利用^[38]。

本文研究结果显示,迪庆苦荞在低氮胁迫下可

以利用更多结构简单的碳源,而在常氮处理下,不耐低氮的黑丰 1 号显示出品种的差异,利用更多碳源。孙波等^[17]研究表明,根际环境中氮素匮乏通常会刺激到植物根系的生长从而增加吸收面积,提高养分的空间有效性。张楚等^[29]研究表明,在低氮胁迫下耐低氮苦荞品种的主根长、根系平均直径、根系体积、根系表面积、根系干重等均高于不耐氮品种,低氮环境在一定程度上可以促进耐氮品种根系生长,不耐低氮品种受低氮胁迫的影响更大。大量的根系在土壤中穿插使根尖破损会释放出更多的胞外酶,低氮胁迫下,耐低氮苦荞品种可能通过单糖酶数量的增加来调节土壤中的碳氮比值,增加微生物等代谢的活性,增加土壤中氮素的释放,提高对养分的利用,满足自身的生长需求。有研究表明,耐受性小麦品种对碳源利用率的增加是由于土壤微生物代谢活性的提高,有利于提高碳利用效率并降低呼吸损失^[18]。较少的根系生物量会降低土壤中的纤维二糖水解酶活性和乙酰葡萄糖胺-氨基己糖苷酶活性^[39]。有研究表明,低氮胁迫下,耐低氮苦荞根系活力和硝酸还原酶活性高于不耐低氮苦荞^[29]。吕凤莲等^[40]通过研究发现低水平的氮添加对油松幼苗土壤蔗糖酶和脲酶活性均有促进作用,这与本研究结果基本一致。

低氮胁迫下,多糖酶(纤维素酶)活性在品种间的趋势和单糖、二糖酶相同,均为迪庆苦荞大于黑丰 1 号,但是常氮处理下,与单糖和二糖酶相比较,迪庆土壤中的纤维素酶活性依然显著高于黑丰 1 号,结果表明耐低氮能力强的迪庆苦荞偏好于结构较复杂的碳源,而耐低氮能力弱的黑丰 1 号则更偏向利用碳源结构较为简单的化合物。孙锋等^[41]发现在棕黄砂质土壤中纤维素酶活性的强弱与土壤中氮素供给有很好的相关性。Bao 等^[18]的研究结果表明,土壤微生物并非平等利用所有可用的碳源,不同耐受性的作物品种拥有不同的碳源选择偏好。有研究表明^[5]不同施氮水平土壤微生物功能多样性差异明显,起分异作用的主要碳源是糖类和氨基酸类。土壤微生物的活性可能会因逆境胁迫对作物根系分泌物的影响而发生改变,这为微生物分解提供了基质^[39]。在氮素丰富的土壤中,土壤微生物吸收作为低分子量微生物溶解有机氮的氨基酸为它们提供碳以刺激呼吸,进而满足其的氮需求^[33]。由于土壤微生物可以通过改变营养物质的可利用性和资源分布来间接影响植物生产力,土壤酶活性的这些变化也可能反映了苦荞品种对低氮胁迫的敏感性,并反过来影响植物的生长。

4 结 论

氮肥处理和品种均对苦荞土壤碳转化相关酶活性产生显著的影响。低氮胁迫下,迪庆苦荞土壤中单糖、二糖、多糖酶的活性均高于黑丰 1 号,但是在常氮处理下,黑丰 1 号的单糖、二糖水解酶显著高于迪庆苦荞,而多糖水解酶的活性却显著低于迪庆苦荞。不同耐氮性的苦荞品种对碳源的选择偏好不同,耐氮能力强的苦荞品种更偏向于利用较为复杂的碳源,在低氮胁迫的环境下则偏向于利用结构简单的碳源,而耐氮能力弱的苦荞品种更偏向于利用简单的碳源,但多集中在正常施氮的环境下,低氮胁迫下对碳源利用较少。

致谢:非常感谢迪庆藏族自治州农业科学研究所与山西省农业科学院高寒作物研究所对本课题提供的品种。

参 考 文 献:

[1] 张福锁,申建波,冯固.根际生态学[M].北京:中国农业大学出版社,2009:63-78.

[2] 孙小花,牛俊义,赵刚.不同前茬与施氮量对半干旱黄土高原夏玉米产量和土壤有机碳库的影响[J].干旱地区农业研究,2018,36(1): 19-27.

[3] 王慧,刘金山,惠晓丽,等.旱地土壤有机碳氮和供氮能力对长期不同氮肥用量的响应[J].中国农业科学,2016,49(15):2988-2998.

[4] 杨瑒,靳学慧,周燕,等.施氮量对寒区盐碱地马铃薯生育期土壤微生物数量和酶活性的影响[J].中国土壤与肥料,2014,(3):32-37.

[5] 夏雪,谷洁,车升国,等.施氮水平对壤土微生物群落和酶活性的影响[J].中国农业科学,2011,44(8):1618-1627.

[6] 张乐,何红波,章建新,等.不同用量葡萄糖对土壤氮素转化的影响[J].土壤通报,2008,39(4):775-778.

[7] 王喜明.碳、氮添加对藏北高寒草甸土壤碳、氮矿化及氮素转化速率的影响[D].兰州:兰州大学,2014.

[8] 万忠梅,宋长春.土壤酶活性对生态环境的响应研究进展[J].土壤通报,2009,40(4):951-956.

[9] 赵仁竹,汤洁,梁爽,等.吉林西部盐碱田土壤蔗糖酶活性和有机碳分布特征及其相关关系[J].生态环境学报,2015,(2):244-249.

[10] Yao Xiaohua, Min Hang, Lu Zhenhua, et al. Influence of acetamiprid on soil enzymatic activities and respiration [J]. European Journal of Soil Biology,2006,42(2):120-126.

[11] 王理德,王方琳,郭春秀,等.土壤酶学研究进展[J].土壤,2016,48(1):12-21.

[12] 关松荫.土壤酶及其研究法[M].北京:农业出版社,1986:274-294.

[13] 安婷婷,侯小畔,周亚男,等.氮肥用量对小麦开花后根际土壤特性和产量的影响[J].中国农业科学,2017,50(17):3352-3364.

[14] Ren S J, Zhang L M, Zhang S Q, et al. The effect of nitrogen nutrition on coordinate growth of root and shoot of winter wheat [J]. Acta Botanica Boreali-occidentalia Sinica,2003,23(3):395-400.