

不同控氮及苦荞品种对黄土高原典型 土壤水肥的影响

陈伟, 王佳, 孙从建, 王红阳, 李亚新

(山西师范大学 地理科学学院, 山西省资源环境信息化管理院士工作站, 山西 临汾 041000)

摘要:为探究黄土高原典型土壤在不同施肥量及苦荞品种影响下的水肥特征,研究设置了 3 个控氮处理(尿素为 0, 80, 100 mg/kg),探明耐氮性差异显著的苦荞品种(黑丰 1 号, HF, 不耐低氮;迪庆苦荞, DQ, 耐低氮)整个生育期对土壤水肥状况的影响情况。结果表明:(1)裂区分析结果显示氮控量、品种、氮控量和品种及时三者之间的交互作用对土壤养分产生了极显著差异($p < 0.01$)。(2)整个生育期,常氮控量下(100 mg/kg),迪庆的有机质、pH、全氮、速效钾、全钾较黑丰高;低氮控量下(80 mg/kg),迪庆的碱解氮、全氮、全磷、pH 比黑丰高;不施氮下(0 mg/kg),迪庆的水分、有机质、速效磷、全氮、全磷均比黑丰高。综上所述,在整个生育期黑丰 1 号的水肥消耗大于迪庆,生育期结束后有降低土壤 pH 的风险,黄土高原贫瘠地区土壤的可持续发展应多选用耐瘠性强的品种。

关键词:不同控氮量;土壤水肥;苦荞;黄土高原

中图分类号:S158.3

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2021)01-0065-08

Effects of Different Nitrogen Treatments and Tartary Buckwheat Cultivars on Soil Water and Fertilizer of Typical Loess Plateau Soil

CHEN Wei, WANG Jia, SUN Congjian, WANG Hongyang, LI Yaxin

(College of Geographical Science, Shanxi Normal University, Academician's Workstation for

Information Management of Resources and Environment in Shanxi Province, Linfen, Shanxi 041004, China)

Abstract: In order to investigate the characteristics of water and fertilizer of typical soils of the Loess Plateau under different fertilization and tartary buckwheat cultivars, three nitrogen treatments (0, 80, and 100 mg/kg urea) were set up to investigate differences in nitrogen tolerance tartary buckwheat cultivars (Heifeng No.1, HF, low nitrogen tolerance; Diqing tartary buckwheat, DQ, low nitrogen tolerance) on the status of soil water and fertilizer. The results showed that: (1) the analysis results of the cracking zone showed that the interactions among nitrogen control amount, cultivar, nitrogen control amount, and cultivar and period had extremely significant differences in soil nutrients ($p < 0.01$); (2) the organic matter, pH, total nitrogen, available potassium, and total potassium in DQ field were higher than those in HF field under the normal nitrogen (100 mg · kg⁻¹) throughout the growth period, alkali-hydrolyzed nitrogen, total nitrogen, total phosphorus, and pH in DQ field were higher than those in HF field under low nitrogen (80 mg/kg); without nitrogen, water content, organic matter, available phosphorus, total nitrogen, total nitrogen phosphorus in DQ field were higher than those in HF field under control treatment (0 mg/kg). In summary, the water and fertilizer consumption of HF was greater than that of DQ during the whole growth period, and there was a risk of lowering soil pH after the end of the growth period. For the sustainable development of soil in the barren region of the Loess Plateau, more cultivars with high tolerance to fertility should be selected.

Keywords: different nitrogen treatment; soil water and fertilizer; tartary buckwheat; Loess Plateau

收稿日期:2020-03-10

修回日期:2020-04-13

资助项目:山西省回国留学人员科研资助项目(2020-092、2020020);山西省高校科技创新项目(2020L0238、2020L0240);国家自然科学基金青年项目(41601317)

第一作者:陈伟(1987—),女,辽宁省铁岭市人,副教授,博士,主要从事土壤酶学、微生物学、生态学方面的研究。E-mail:wan_xin_chen@126.com

通信作者:孙从建(1986—),男,河北沧州市人,副教授,博士(后),主要从事生态学、气候变化与水循环研究。E-mail:suncongjian@sina.com

黄土高原典型土壤是我国北方最重要的土地资源之一,广布于北方46个地(市),总面积达64万 km^2 ,约占全国土地总面积的6%。由于其以粉沙颗粒为主、土质疏松、雨水崩解的特性,降水集中时极易导致水土流失,而水土流失带走大量泥沙的同时,也带走了土壤中大量养分^[1-2]。黄土高原典型土壤是山西省内面积最大、分布最广的地带性土壤,“缺氮、少磷、钾充足”是黄土高原瘠薄地区土壤养分含量的整体特点。同时也有研究表明^[3]山西黄土高原土壤多偏碱性且氮素贫瘠,使作物的生长发育以及产量受到抑制。因此,黄土高原地区因独特的生态环境而造成的氮素流失及匮乏是限制农业生态系统可持续发展的主要因素。而苦荞(*Fagopyrum tataricum* L.)因生育期短和耐瘠性好被广泛种植在黄土高原生态环境较严酷的地区,也是中西部经济相对落后地区的主要粮食、经济和避灾救荒作物,有着其他大宗作物无法替代的区位优势^[4-5]。另外,苦荞对于中西部粮食安全和贫困地区也同样起着不可或缺的作用。

大量研究结果表明,作物不同的生育期生长特点不同^[6-8],且作物对土壤中养分的积累和分配也因生长阶段的不同而差异显著^[9-10]。所以,作物不同生育期或生育阶段土壤的养分状况也存在差异。对于作物不同生育期土壤养分状况的研究主要集中在小麦^[11]、玉米^[12]、大豆等^[13]大宗作物,对于苦荞关注较少。尽管研究不同时期土壤养分的含量对于人们把握整个生育期养分状态有很重要意义。但很多学者对于苦荞的生育期养分变化研究主要集中在苗期^[14-15],有研究结果显示苦荞整个生育期对土壤中N:P:K的比例基本保持在1:0.36~0.45:1.76。但在整个生育期中,品种的差异是土壤中养分状况产生差异的主要原因,大量研究表明,同一作物的不同品种对土壤潜在养分聚集、消耗以及利用能力的差异使土壤养分含量产生较大差异^[16]。张楚等^[17]通过9个不同基因型苦荞的水培试验发现,低氮环境下,地上部分茎叶的生长和地下部分根系的变化,耐氮品种与不耐氮品种差异显著。陈伟等^[4]利用荧光光谱法对苦荞根际土壤的研究表明,低氮条件显著影响土壤根际纤维素酶和氮循环过程相关的土壤酶活性,除苦荞成熟期的常氮处理,苗期和开花期的低氮处理条件下,纤维素酶活性均表现为耐低氮品种迪庆苦荞根际土壤显著高于不耐低氮品种黑丰1号。同时另有学者^[5]对苦荞土壤根系分泌有机酸进行试验,发现低氮胁迫下苦荞根系分泌有机酸含量在品种间具有明显

的差异,迪庆根际土壤中草酸含量在各个生育期分别显著高于黑丰,酒石酸也在开花期和成熟期表现也如此。另外,品种也同样对土壤碳转化酶活性上产生显著影响^[15]。因此无论地上的生理生态指标还是根系分泌的有机酸,以及涉及土壤中主要的碳氮循环,耐氮品种与不耐氮品种都存在着很大的差异性。我们假设这种差异性较大的品种对不同生育期土壤养分的变化过程中也会产生不同的影响。本文通过对不同控氮条件下不同苦荞品种在生育期内土壤养分动态变化进行对比分析,探究不同耐瘠性品种在不同控氮条件下对养分的吸收和利用特征,以认知苦荞耐贫瘠的特性,为黄土高原贫瘠地区农田施肥措施、氮肥管理提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况及试验设计

供试土壤采自山西省乡宁县冯家沟水土保持监测站长期撂荒地0—20 cm土层,为黄土高原典型黄土母质上发育的褐土,于2018年5月24到8月31日在山西师范大学校塑料大棚内进行(111.50E, 36.08N),海拔449 m,地处半干旱、半湿润季风气候区,属温带大陆性气候,四季分明,雨热同期,全年平均气温13.5℃,平均降水量527.4 mm。本试验采用盆钵试验,供试苦荞品种:“迪庆苦荞”(DQ)和“黑丰1号”(HF)。其中,迪庆苦荞(DQ)为耐瘠性品种,由迪庆藏族自治州农业科学研究所提供。黑丰1号(HF)为不耐瘠品种,由山西省农业科学院高寒作物研究所提供^[4]。其中设置3个处理,分别为对照(CK,尿素0 mg/kg)、低氮控量(N_1 ,尿素80 mg/kg)、常氮控量(N_2 ,尿素100 mg/kg),每个处理设置3次重复,每个处理均施入相同的磷肥(P_2O_5 ,150 mg/kg)与钾肥(K_2O ,60 mg/kg)作为底肥。每盆装入10 kg褐土,并按3种处理施以氮肥和底肥,拌合均匀。同时,每盆选取饱满均匀无病虫害的种子,经去离子水浸泡24 h后,均匀播种,埋入同样的深度,每盆定苗8株,之后正常供应水分(400 ml)。

1.2 样品采集

苦荞的生长周期较短,一般为3个月,在播种时及播种后30 d(6月25),60 d(7月25),90 d(8月31)采集样品,分别作为播种期(S, Sowing stage)、幼苗期(S, Seedling stage)、开花期(F, Flowering stage)与成熟期(M, Maturation stage)的土样。采样时,使用抖土法,除去里面杂质和土块,取小部分置于铝盒

待测土壤含水量;一份样品装入塑封袋,带回后剔去其中的石块、草根等杂物,土样经过一周左右的自然风干磨细后分别过 20 目、60 目和 100 目筛,分别装袋密封待测土壤的各养分指标。

1.3 指标测定

土壤含水量采用烘干法,称取少量鲜土放入铝盒,在 105℃烘干 24 h 后,计算土壤含水量;土壤 pH 值在水土比(2.5 : 1)浸提下用 pH 计测定;有机质采用重铬酸钾加热法测定;速效磷采用 0.52 mol/L NaHCO₃ 浸提—钼锑抗比色法测定;速效钾采用乙酸铵浸提—火焰光度计法测定;碱解氮采用碱解扩散法测定;全钾采用高氯酸硫酸消煮—火焰光度计法测定;全氮采用凯氏定氮仪法测定;全磷采用 HClO₄-H₂SO₄ 分光光度计法测定^[18]。

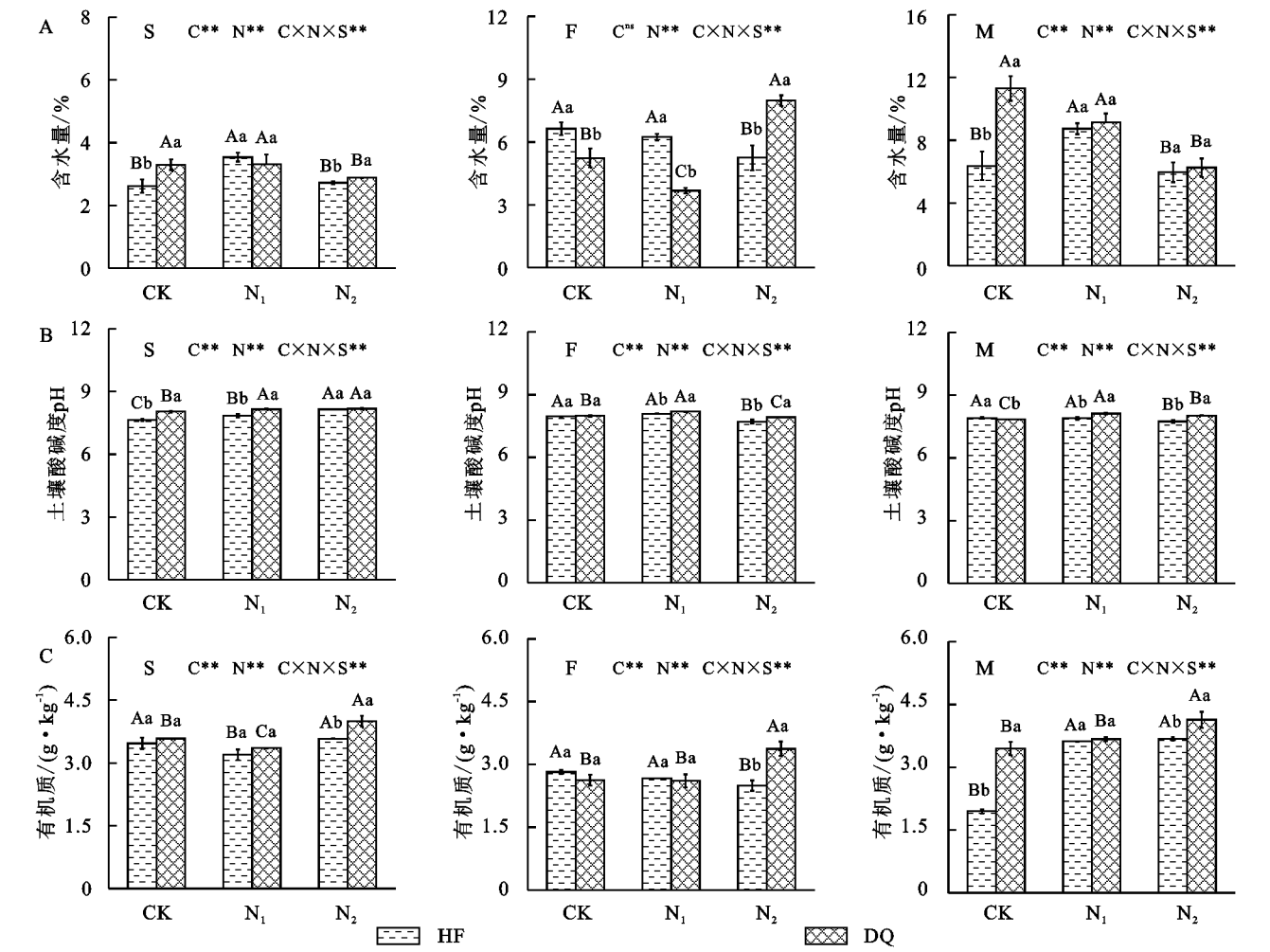
1.4 数据处理

试验数据采用 Excel 2010 进行统计,数据统计结果采用 SPSS 22.0 软件进行单因素方差分析、独立样本 T 检验、裂区分析,运用 Origin 8.0 进行制图。

2 结果与分析

2.1 不同氮控量及品种对土壤含水量、pH 及有机质的影响

裂区分析显示,除开花期土壤的含水量,氮控量、品种及三者交互作用均对土壤的含水量、pH 及有机质产生显著影响($p < 0.05$,图 1)。在幼苗期,N₁ 处理下的两个品种的土壤含水量分别比 N₂ 处理下的高 30.10%和 15.06%,而两个品种没有显著差异;但在 CK 及 N₂ 处理下,DQ 的土壤含水量分别较 HF 高 25.89%和 6.02%。开花时期,HF 品种的土壤含水量在 N₁ 处理下的比 N₂ 的高 26.85%,DQ 的则比 N₂ 低 112.6%,同时在 CK 及 N₁ 处理下,HF 的土壤含水量分别较 DQ 高 30.28%,66.19%;而 N₂ 处理下 HF 较 DQ 低 62.29%。在成熟期,N₁ 处理下的两个品种的土壤含水量分别比 N₂ 处理下的高 46.66%和 46.24%,而两个品种均在 N₁,N₂ 处理下没有显著差异(图 1A)。



注:S表示幼苗期,F表示开花期,M表示成熟期;HF表示黑丰1号,DQ表示迪庆苦荞;CK表示不施氮,N₁表示低氮控量,N₂表示常氮控量。C代表品种,N代表氮处理,C×N×S代表品种、氮处理及时期三者的交互作用, p 值基于裂区分析,其中,**表示极显著,*表示显著,ns代表不显著。图上的大写字母表示同一品种的不同氮处理在($p < 0.05$)概率下水平差异显著,小写字母表示同一氮处理下不同品种在($p < 0.05$)概率下水平差异显著,下同。

图 1 不同控氮处理及品种对土壤含水量、pH 及有机质的影响

图1B所示,幼苗期,HF的土壤pH随施氮量的增加较CK分别增加2.80%,6.73%,DQ在 N_1 处理下土壤pH较CK高1.37%,且在CK及 N_1 处理下,DQ的土壤pH均高于HF5.42%,3.95%。在开花期, N_1 处理下的HF和DQ的土壤pH分别比 N_2 的高4.84%和3.45%,且在这一时期DQ的土壤pH在 N_1 处理下最高;同时在 N_1 、 N_2 处理下,DQ的土壤pH分别较HF高1.28%,2.64%。成熟期, N_1 处理下的两个品种的土壤pH分别比 N_2 下的高2.07%和1.25%,且 N_1 、 N_2 处理下HF的土壤PH较DQ的低2.87%,3.71%。

图1C所示,在幼苗期,DQ的土壤有机质在 N_1 处理下比CK、 N_2 处理下的分别低6.78%,19.12%,HF也较 N_2 处理下低12.03%。两个品种在CK及 N_1 处理下均没有显著差异,而在 N_2 处理下,DQ的土壤有机质高HF11.67%。开花期,HF在 N_1 处理下的土壤有机质比 N_2 高7.11%,而DQ在 N_2 处理下土壤有机质较 N_1 高36.74%,且在 N_2 处理下DQ的土壤有机质较HF高35.48%。在成熟期,HF的土壤有机质在 N_1 处理下比CK处理下高85.79%,DQ的土壤有机质在 N_2 处理下比 N_1 处理下高12.54%,且在 N_2 处理下,DQ的土壤有机质较HF高12.43%。

2.2 不同氮控量及品种对土壤速效养分的影响

裂区分析显示,除了成熟期的速效钾,氮控量对土壤速效养分产生了极显著差异($p<0.01$);除了幼苗期的速效钾和成熟期的碱解氮、速效磷、速效钾,品种均对土壤速效养分产生了极显著差异($p<0.01$);除了幼苗期的速效磷外,品种和氮控量及时期三者之间的交互作用也对土壤速效养分影响极显著($p<0.01$)(图2)。由图2A可知,幼苗期和开花期,在 N_1 处理下HF的土壤碱解氮较DQ高12.38%,63.97%,同时在 N_2 处理下HF的土壤碱解氮比DQ高53.43%,37.19%;成熟期的 N_1 处理下,DQ比HF高44.83%。随着施氮量的增加,HF在开花期和成熟期的 N_1 处理下出现最小值,且DQ也在成熟期 N_1 处理下土壤中碱解氮的含量出现最小值。不同控量下,两个品种的土壤碱解氮变化总体上以苦荞幼苗期为分界线呈先上升后下降的趋势。在苦荞幼苗期,各处理的土壤碱解氮均达生育期内的最大值。而且随着氮肥量的增加,HF品种的 N_2 处理在数值上分别高出CK及 N_1 处理70.02%,107.79%,但DQ品种的CK处理在数值上高出 N_1 处理60.62%。在整个生育期的后期(苦荞成熟期)各处理下降幅度较大,整个生育期结束后,两个品种在 N_1 处理下土壤碱解氮

含量都相对于播种期降低了278%,161%,但DQ的土壤碱解氮比HF高。

幼苗期,在 N_1 、 N_2 处理下,DQ的土壤速效磷含量比HF高17.11%,13.35%。开花期 N_1 处理下DQ土壤中速效磷的含量高于HF137.85%,同时在这一时期, N_1 处理下HF的土壤速效磷比CK、 N_2 处理下低79.48%,182.84%。而成熟期 N_2 处理下HF比DQ高72.62%(图2B)。图2B可以看出,土壤速效磷含量在幼苗期上升,达到全生育期的最高值,然后不同程度下降。幼苗期两个品种的各处理土壤速效磷含量的大小顺序为: $N_2>N_1>CK$ 。从苦荞幼苗期到成熟期,两个品种各处理有不同程度的下降趋势,以 N_1 下降幅度最大,下降了207.09%,302.88%。在苦荞收获后,HF品种各处理的土壤速效磷含量顺序为: $N_2>CK>N_1$,而DQ的各处理的土壤速效磷含量顺序为: $CK>N_2>N_1$,两个品种的 N_1 处理均低于播种期130.91%,158.68%,但HF的土壤速效磷高DQ,但差异性不明显。

3个时期,在 N_2 处理下DQ土壤中速效钾的含量分别比HF高30.24%,32.72%,40.79%;幼苗期和开花期,HF在 N_1 处理下的土壤速效钾的含量比 N_2 处理下高29.45%,28.49%。从图2C可以看出,速效钾的变化趋势与碱解氮、速效磷动态变化一致,均为在幼苗期达到峰值,然后呈下降趋势。试验结果表明,HF的速效钾含量在 N_1 处理下最高为0.46,数值比其他处理高。HF品种幼苗期各处理土壤速效钾含量高低顺序为: $N_1>CK>N_2$,DQ则幼苗期各处理土壤速效钾含量高低顺序为: $N_2>N_1>CK$ 。随着生育期推进,速效钾含量逐渐下降,其中 N_1 处理下降的幅度最大。在生育期结束后,两个品种的3个处理的土壤速效钾含量均高于播种期,且 N_2 处理下,DQ的土壤速效钾比HF高。

2.3 不同氮控量及品种对土壤全效养分的影响

裂区分析显示,全效养分中除了幼苗期的全磷和3个时期的全钾,品种对土壤全效养分产生了极显著差异($p<0.01$);除了幼苗期的全磷、全钾及成熟期的全磷,氮控量均对土壤全效养分产生了极显著差异($p<0.01$);除了幼苗期的全磷和全钾、成熟期的全氮外,品种和氮控量及时期三者之间的交互作用也对土壤全效养分影响极显著($p<0.01$)(图3)。幼苗期和成熟期的 N_2 处理下,DQ的土壤全氮比HF高34.37%,12.31%。而在开花期 N_2 处理下,HF比DQ高10.95%。在这一阶段,两个品种随着施氮量的增加,土壤中全

氮的含量也显著增加。开花期和成熟期 N_1 处理下, DQ 比 HF 高 26.69%, 42.77% (图 3A)。从图 3A 看出, 土壤全氮的变化趋势较为复杂, 两个品种均以幼苗期和开花期两个时间段为界。HF 和 DQ 两个品种的各处理播种期到幼苗期均处于上升趋势, 而幼苗期到开花期这一阶段, HF 品种的 CK 和 N_2 处理为下降趋势, N_1 处理为上升趋势; 则 DQ 品种的各处

理均处于下降趋势。在开花期到成熟期两个品种及各处理均处于上升趋势。在苦荞的成熟期, 两个品种各处理的土壤全氮含量顺序分别为: $N_2 > N_1 > CK$, $N_1 > N_2 > CK$ 。除两个品种的 CK 处理土壤全氮含量相对于播种期有所下降外, 其余各处理均有不同程度的提高。 N_1 , N_2 处理下 DQ 相对于 HF 较播种期提升了 42.77%, 15.90%。

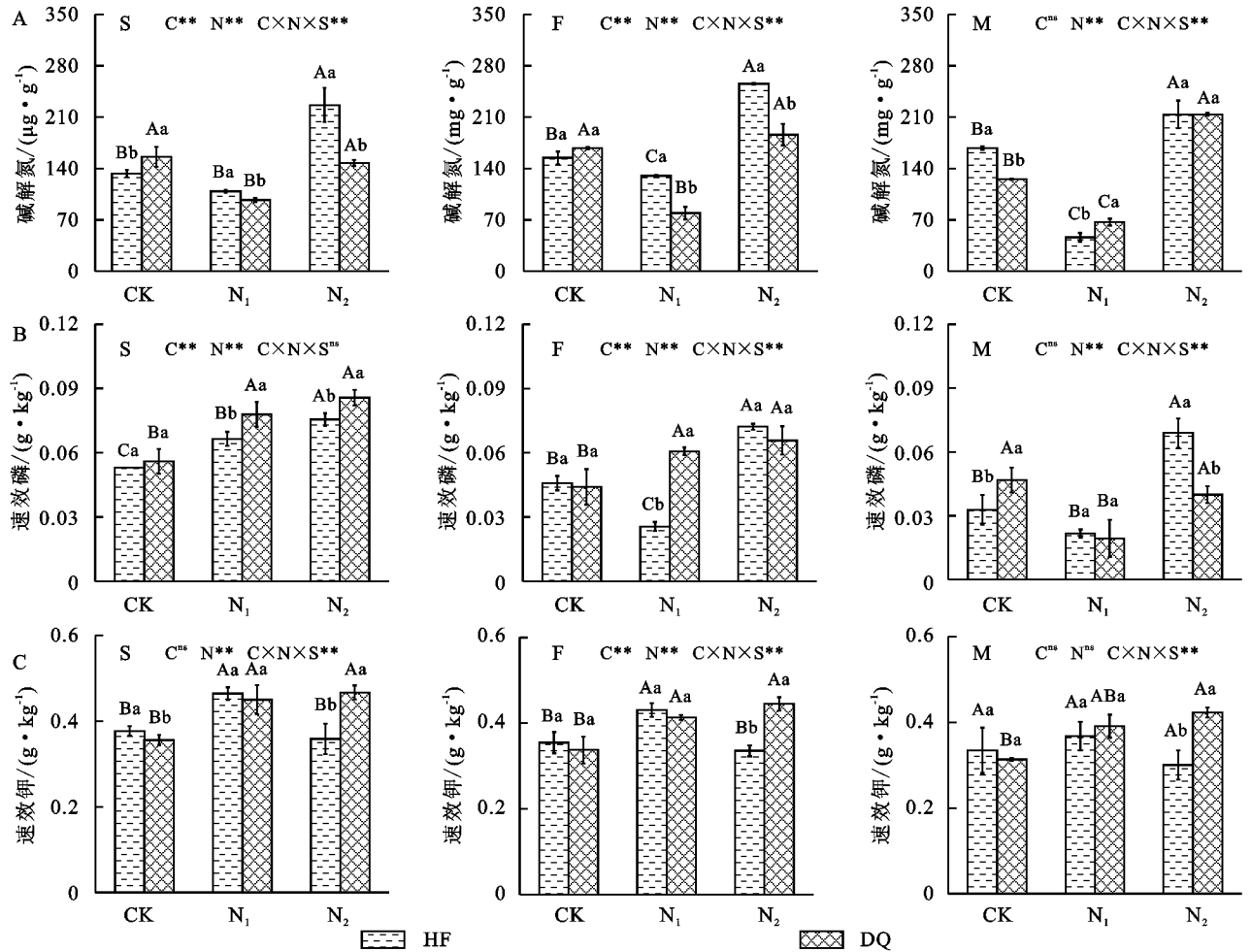


图 2 不同控氮处理及品种对土壤速效养分的影响

开花期和成熟期的 N_1 处理下, DQ 土壤中全磷含量比 HF 高 23.62%, 16.27%。而在开花期 DQ 品种随着施氮量的增加在 N_1 处理下出现最大值, 较 CK, N_2 处理高 10.98%, 30.55% (图 3B)。不同控量下, 土壤全磷变化总体上呈现上升趋势。在苦荞幼苗期到开花期, 两个品种均呈现大幅度增加, 而从开花期到成熟期各处理增加相对较平缓。在整个生育季后期 (苦荞成熟期) 各处理的土壤全磷相对于播种期均有不同程度的提高。其中, HF 品种的土壤全磷含量在 N_1 处理与 N_2 处理下几乎重合, DQ 品种的土壤全磷含量在 N_1 处理下提升效果最明显, 相对于播种期提升了 174.28%, 且相对于 HF 提升了 16.27%。

开花期的 CK, N_1 处理及成熟期 N_1 处理下 HF 的土壤全钾比 DQ 分别高 17.37%, 3.92%, 31.81%。而开花期和成熟期的 N_2 处理下, DQ 比 HF 高 11.47%, 16.30%; 同时在这两个阶段, DQ 土壤中全钾含量随着施氮量的增加而增加, 在 N_2 处理下达到最高值 (图 3C)。从图 3C 可知, 土壤全钾的含量在苦荞幼苗期开始, 两个品种在 N_1 , N_2 处理下均呈上升趋势, 但 CK 处理下, 两个品种从开花期到成熟期呈现下降趋势, 在苦荞收获后, 两个品种各处理的土壤全钾含量顺序为: $N_1 > N_2 > CK$, $N_2 > N_1 > CK$ 。其中, 各处理均有不同程度的提高, HF 品种的 N_1 处理提升最明显, 相对于播种期提升了 104.04%, 而 DQ 品种的 N_2 处理提升最明显, 相对于播种期提升了 124.90%。

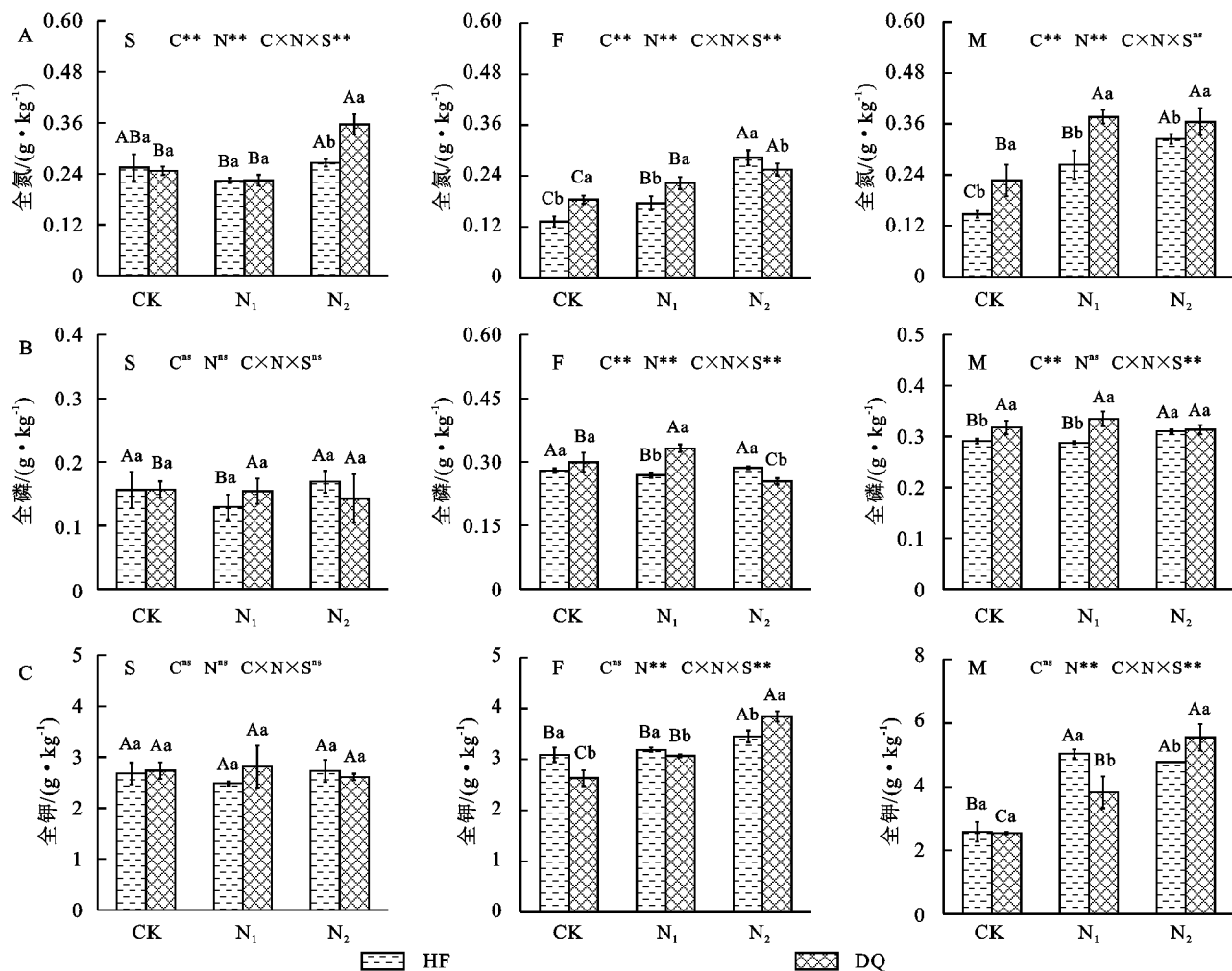


图 3 不同控氮处理及品种对土壤全养养分的影响

3 讨论

3.1 不同控氮量及品种对土壤含水量、pH 及有机质的影响

本研究中,在幼苗期,低氮控量下两个品种的土壤含水量分别比常氮控量下高,并且品种之间没有显著差异。研究表明,植物在胁迫条件下能够感应外界胁迫并调节自身系统以增强其的生存机会^[19],苦荞通过在低氮环境中主根伸长来增加根系吸收水的范围,进而适应缺氮环境^[20]。因此低氮处理下两品种的土壤含水量较高。土壤中的水分是种子萌发的首要条件,研究表明苦荞从发芽到幼苗期需要较多的水分且出苗后 17~25 d 是苦荞需水的临界期^[21]。此时,两个品种都需要大量的水分,所以数据并没有检测出品种差异;开花期的对照及低氮控量下,黑丰的含水量高于迪庆,说明迪庆的耗水量较黑丰高,可能正是因为耐低氮品种的主根伸长幅度均大于不耐低氮品种,迪庆在胁迫条件下,主根伸长幅度较大来吸收水分,因此迪庆的土壤水分较低^[20,22]。而在

常氮控量下迪庆需要的水分比黑丰少,可能是因为品种的差异,有研究表明苦荞品种在开花期所消耗的水分不同和本文结论一致^[14,23]。相关研究表明 pH 是影响土壤养分的重要因素之一,左右着绝大多数土壤中营养元素的转化过程、方向、形态和有效性等^[24]。本研究中,我们发现在 3 个时期的低氮控量下,DQ 的土壤 pH 均高于 HF。不同作物在遭受胁迫时,根系会分泌大量的有机酸来应对胁迫,通过根际效应来平衡养分吸收与植物生长^[25]。当土壤中氮素以 NH_4^+ 的形态被吸收时,引起阳离子与阴离子吸收比率大于 1,为保持电荷平衡, H^+ 被排放到土壤中引起根际 pH 下降;当土壤中氮素以 NO_3^- 的形态被吸收时,引起阳离子与阴离子吸收比率小于 1,根系 OH^- 被释放到土壤中引起根际 pH 上升,同时释放大量的有机酸阴离子^[26]。而作物品种因生理差异在生长过程中会对造成土壤向酸化的方向转移,本研究中,耐低氮的苦荞 DQ 对土壤 pH 产生的影响更小,偏向于环境友好型品种。苦荞幼苗期的两个品种在对照及低氮控量下土壤有机质均没有显著差异。苦

养的不同生育阶段的营养特性是不同的,幼苗期由于生长缓慢且苦荞自身的营养可满足生长需求,对土壤中小分子氨基酸和无机盐养分吸收的少而缓慢^[27],所以,在幼苗期的两个品种的土壤有机质含量差异不是很明显。开花期及成熟期,迪庆在常氮控量下土壤有机质较低氮控量下高,且在 3 个时期常氮控量下迪庆的土壤有机质较黑丰高。有研究表明,随着施氮量的增加,土壤中有机质的含量也随之增加^[28],而且在正常的施氮条件下,耐低氮品种比不耐低氮品种消耗的有机质少^[15]。

3.2 不同控氮量及品种对土壤养分的影响

氮、磷、钾 3 种元素是作物生长发育的必需营养元素,在黄土高原缺氮少磷瘠薄的养分条件下,不同作物及同一作物不同品种之间,在对土壤养分有效元素(N,P,K)的吸收和利用效率上表现出明显的差异性^[29]。裂区分析结果表明品种对苦荞不同生育期土壤养分产生显著差异,而且不同控氮下的土壤碱解氮、速效磷、速效钾 3 种速效养分在苦荞整个生育期中含量变化有着巨大的差异。我们发现整个生育期结束后,两个品种在低氮控量下土壤碱解氮、速效磷含量都相对于播种期降低了,而土壤速效钾含量均高于播种期。出现这种情况的原因可能由于在播种的时候氮肥施入土壤,导致在苦荞幼苗期土壤碱解氮、速效磷和速效钾随着施氮比例增高而含量增大^[30];在作物生长后期,部分的无机氮被吸收使各处理的速效养分反应速率加快。有研究表明,植物在选择氮素吸收形态时会改变根际土壤的微环境从而影响其他养分吸收利用。吸收 NH_4^+ 会抑制 K,Ca,Mg,Zn 的吸收,增加对 P 的吸收,吸收 NO_3^- 会促进 K,Ca,Mg 的吸收,抑制 P 的吸收,因此在生育后期速效养分呈现下降趋势^[31]。除两个品种对照处理中土壤全氮含量相对于播种期有所下降外,其余各处理均有不同程度的提高。研究表明施氮可以明显增加土壤中全氮、碱解氮的含量^[32],改善根际土壤的养分状况,增加养分有效性^[33]。我们发现在低氮控量下迪庆土壤中全氮、全磷、碱解氮的含量相对于黑丰较播种期提升了。研究表明作物成熟期 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^[34],耐低氮苦荞品种在开花前的低氮环境中能够维持较高的根系超氧化物歧化酶活性、过氧化物酶活性^[20]以及土壤中的氨氧化酶活性^[14],可更好地适应低氮环境,从而加速硝化作用转化出更多的有效态氮供植物吸收利用。而低氮控量下,黑丰品种土壤中全钾的含量高

于迪庆品种,说明迪庆品种较黑丰吸收钾离子多。在土壤中 K 易以氯化钾、硫酸钾等盐类形式存在,在水中解离成钾离子而被植物根系吸收。在植物生长过程中钾与糖的合成有关,亦可以促进蛋白质合成及糖类协同运输^[35]。由于植物的品种不同,对养分吸收也不同。有学者比较了多个苦荞品种的敏感性,发现迪庆苦荞(耐低氮品种)的可溶性蛋白含量的降低幅度要比低氮敏感性品种黑丰 1 号更大^[17];也有研究发现,不同苦荞品种植株中可溶性糖等的含量不同^[20],植株贮藏器官富含糖类的含量不同^[35],其中的钾含量也不同。同时也发现,土壤全钾的含量从幼苗期开始,两个品种的低氮和常氮处理均呈上升趋势,说明随着生育期的变化,植物后期对土壤中的钾素吸收不断减少。研究表明作物生长的后期,植物完成了其生长发育,减少对土壤中 N,P,K 等养分的吸收^[4],从而土壤中钾的含量出现增加的状态。

4 结论

播种期到生育期结束后,迪庆苦荞品种在不同控氮量下土壤中养分总体上优于黑丰一号,而在生育期结束后土壤中养分含量多于黑丰一号,并且对土壤 pH 的变化影响较小。从土壤养分存留及 pH 变化角度,耐低氮的迪庆品种保水保肥效果优于黑丰 1 号,偏向于环境友好型品种。综上所述,在整个生育期黑丰 1 号的水肥消耗大于迪庆,生育期结束后有降低土壤 pH 的风险,黄土高原贫瘠地区土壤的可持续发展应多选用耐瘠性强的品种。

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种子资源。

参考文献:

- [1] 刘秉正,李光录.黄土高原南部土壤养分流失规律[J].水土保持学报,1995,9(2):77-86.
- [2] 王埃平.黄土高原生态修复与生态环境质量评价研究[D].西安:西安理工大学,2007.
- [3] 王子王,曹家林.山西省荞麦种质资源含硒特性的初步分析[J].作物品种资源,1993(4):11-13.
- [4] 陈伟,孙从建,李卫红.低氮胁迫下苦荞根际土壤纤维素酶活性的响应机制:荧光光谱法测定[J].光谱学与光谱分析,2018,38(10):3159-3162.
- [5] 陈伟,崔亚茹,杨洋,等.苦荞根系分泌有机酸对低氮胁迫的响应机制[J].土壤通报,2019,50(1):149-156.
- [6] 程建峰,戴廷波,荆奇,等.不同水稻基因型的根系形态

- 生理特性与高效氮素吸收[J].土壤学报,2007,44(2):266-272.
- [7] 胡延吉,樊广华,赵檀方.不同时期3个小麦主栽品种叶片光合作用的研究[J].种子,1997(4):17-21.
- [8] 郭金生,鲁晓民,曹丽茹,等.不同生育时期干旱胁迫下玉米自交系生理指标与产量的关系及抗旱性评价[J].河南农业科学,2018,47(11):18-24.
- [9] 陆大雷,刘小兵,赵久然,等.甜玉米氮素积累和分配的基因型差异[J].植物营养与肥料学报,2008,14(5):852-857.
- [10] Moll R H, Kamprath E J, Jackson W A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization[J]. Agronomy Journal, 1982, 74(3):562-568.
- [11] 周陈,李许滨,杨明开,等.冬小麦不同生育期土壤微生物及养分动态变化[J].西北农业学报,2008,17(3):119-122,134.
- [12] 沈宏,曹志洪,徐本生.玉米生长期间土壤微生物量与土壤酶变化及其相关性研究[J].应用生态学报,1999,10(4):88-91.
- [13] 田艳洪,刘元英,张文钊,等.不同时期施用氮肥对大豆根瘤固氮酶活性及产量的影响[J].东北农业大学学报,2008,39(5):15-19.
- [14] 陈伟,崔亚茹,孙从建,等.低氮胁迫下不同苦荞品种开花前土壤养分含量特征[J].水土保持研究,2019,26(4):151-156.
- [15] 陈伟,杨洋,崔亚茹,等.低氮对苦荞苗期土壤碳转化酶活性的影响[J].干旱地区农业研究,2019,37(4):132-138.
- [16] 唐劲驰,曹敏建.作物耐低钾营养研究进展[J].沈阳农业大学学报,2001,32(5):382-385.
- [17] 张楚,张永清,路之娟,等.苗期耐低氮基因型苦荞的筛选及其评价指标[J].作物学报,2017,43(8):1205-1215.
- [18] 鲍士旦.土壤农化分析[M].北京:中国农业出版社,2007.
- [19] 张美俊,乔治军,杨武德,等.不同糜子品种对低氮胁迫的生物学响应[J].植物营养与肥料学报,2014,20(3):661-669.
- [20] 张楚,张永清,路之娟,等.低氮胁迫对不同苦荞品种苗期生长和根系生理特征的影响[J].西北植物学报,2017,37(7):1331-1339.
- [21] Zhu F. Chemical composition and health effects of Tartary buckwheat[J]. Food Chemistry, 2016,203(7):231-245.
- [22] Gao K, Chen F, Yuan L, et al. Cell Production and expansion in the primary root of maize in response to low-nitrogen stress[J]. Journal of Integrative Agriculture, 2014,13(11):2508-2517.
- [23] 李强,罗延宏,谭杰,等.玉米杂交种苗期耐低氮指标的筛选与综合评价[J].中国生态农业学报,2014,22(10):1190-1199.
- [24] 唐琨,朱伟文,周文新,等.土壤pH对植物生长发育影响的研究进展[J].作物研究,2013,27(2):207-212.
- [25] 赵宽,周葆华,马万征,等.不同环境胁迫对根系分泌有机酸的影响研究进展[J].土壤,2016,48(2):235-240.
- [26] Knoepp D K, Turner D P, Tingey D T. Effects of ammonium and nitrate on nutrient uptake and activity of nitrogen assimilating enzymes in western hemlock[J]. Forest Ecology and Management, 1993,59:179-191.
- [27] 戴庆林,任树华,刘基业,等.半干旱地区荞麦吸肥规律的初步研究[J].内蒙古农业科技,1988(3):11-13.
- [28] Singh H, Sharma K N, Arora B S. Influence of continuous fertilization to a maize-wheat system on the changes in soil fertility[J]. Fertilizer Research, 1995, 40(1):7-19.
- [29] 郭程瑾,张立军,崔喜荣,等.氮胁迫条件下中国春一代换系小麦苗期耐低氮特征研究[J].植物营养与肥料学报,2011,17(1):29-37.
- [30] 王宪奎,李建贵,刘隋赞昊,等.不同施肥措施对灰枣园土壤速效养分含量的影响[J].经济林研究,2016,34(2):35-40.
- [31] Ruan J, Zhang F, Wong M H. Effect of nitrogen form and phosphorus source on the growth, nutrient uptake and rhizosphere soil property of *Camellia sinensis* L [J]. Plant and Soil, 2000,223(1/2):65-73.
- [32] 梁国鹏, Houssou A A, 吴会军,等.施氮量对夏玉米根际和非根际土壤酶活性及氮含量的影响[J].应用生态学报,2016,27(6):1917-1924.
- [33] 沈芳芳,吴建平,樊后保,等.杉木人工林凋落物生态化学计量与土壤有效养分对长期模拟氮沉降的响应[J].生态学报,2018,38(20):7477-7487.
- [34] 陈伟,皇甫倩华,孙从建,等.大气O₃升高对小麦根际土壤微生物量和氮素转化酶活性的影响[J].土壤通报,2017,48(3):623-630.
- [35] 任如冰.不同施肥方式对土壤钾素有效性及番茄产量品质的影响[D].沈阳:沈阳农业大学,2018.