



马铃薯燕麦间作和施氮对马铃薯干物质累积、产量及品质的影响

蔡明¹, 刘吉利², 杨亚亚¹, 吴娜¹, 何海锋¹, 贺锦红¹

(1. 宁夏大学农学院, 银川 750021; 2. 宁夏大学资源环境学院, 银川 750021)

摘要 基于宁南山区马铃薯连作障碍、用养地矛盾导致产量低下等问题, 通过设置 4 个氮水平和 2 种植模式的裂区试验, 研究间作和施氮对马铃薯干物质累积参数、产量及品质的影响规律, 为提高马铃薯产量、缓解连作障碍提供一定的理论依据和技术支撑。研究表明, 单作马铃薯施氮处理较不施氮处理干物质质量积累最大速率分别增加 17.26%、27.41%、26.14%, 间作施氮处理分别增加 10.38%、33.69%、41.10%。与不施氮处理相比较, 单作模式下干物质活跃积累时间随施氮量分别降低 57.44%、85.09%、31.92%, 干物质积累速率最大时生长量分别增加 84.75%、8.41%、50.43%; 间作模式下干物质活跃积累时间随施氮量分别降低 7.04%、16.9%、15.50%, 干物质积累速率最大时生长量分别增加 18.28%、22.57%、30.96%。间作和施氮对干物质积累和产量的提升明显, 其中以间作施氮 150 kg·hm⁻² 和 225 kg·hm⁻² 处理最佳。通过对产量模拟得出间作马铃薯最佳施氮量为 154.08 kg·hm⁻², 理论产量可达到 34 674.7 kg·hm⁻²。与不施氮处理相比, 间作下还原糖含量随施氮量的增加分别增加 4.26%、2.71%、1.16%, 淀粉含量分别增加 0.53%、49.13%、26.85%, 施氮处理间粗蛋白含量、淀粉含量、可溶性糖含量差异显著, 施氮及间作交互作用下还原性糖含量差异显著; 对产量和品质因素进行主成分分析, 表明间作施氮处理综合值高于单作且施氮 150 kg·hm⁻² 处理下最高。马铃薯燕麦间作施氮在干物质累积、产量及营养品质方面均优于单作, 间作马铃薯施氮量宜为 150~154.08 kg·hm⁻²。

关键词 施氮量; 间作马铃薯; 干物质累积; 产量; 品质

中图分类号 S816.15; S532

文献标志码 A

文章编号 1004-1389(2020)03-0354-09

间作作为多熟种植的代表^[1], 在时空增加作物对生长所需不同资源的利用、促进农业可持续发展、环境及粮食安全等方面发挥着重要的作用^[2-3]。合理的间作可起到稳产、改善作物营养状况、减轻病虫害发生的作用^[4-5]。在有限的时空条件下, 如何最大限度地发挥间作优势一直备受关注, 前人已在小麦间作蚕豆^[6]、玉米间作花生^[7]、大豆间作高粱^[8]等多种间作模式上进行了深入的研究。

氮素作为植物体内重要的营养及信号物质, 参与植物重要的生理代谢和信号转导活动, 也影响植物生长发育及产量品质形成^[9-10]。施氮在一定程度上可以改善作物的品质, 对产量的贡献可达 40%~50%^[11]。近年来单纯追求高产, 氮素投入加大, 造成资源的浪费、农产品品质效益下降以

及氮素利用率普遍过低等问题^[12-13]。保证作物产量的前提下, 合理施氮成为当今农业可持续发展的热点之一^[14]。因宁夏 90% 以上马铃薯集中种植在宁夏南部山区, 马铃薯种植业已成为当地农民创收增收和发展经济的特色优势产业^[15], 燕麦在宁南山区表现出较好的生态适应性和耐旱性, 是宁南山区粮草兼用、轮作倒茬、培肥地力的特色作物^[16]。研究表明^[17-18], 马铃薯间作燕麦作为特殊的旱地半干旱地间作模式, 在解决上述问题方面效果显著。本研究针对马铃薯产量品质降低等生产实际问题, 通过分析施氮和间作对马铃薯干物质累积、产量及品质的影响, 确定最佳的施氮量, 揭示间作和施氮对产量品质的影响机理, 为宁南山区旱作马铃薯的可持续健康发展提供理论依据和技术支撑。

收稿日期: 2019-05-26 **修回日期:** 2019-07-25

基金项目: 国家自然科学基金 (31660376); 宁夏大学研究生创新项目 (GIP2019008); 宁夏自然科学基金 (2019AAC03063); 国家科技支撑项目 (2015BAD22B01)。

第一作者: 蔡明, 男, 硕士研究生, 研究方向为作物高产优质栽培。E-mail: 975209658@qq.com

通信作者: 吴娜, 女, 博士, 教授, 主要从事作物高产优质栽培研究。E-mail: nawu2000@163.com

1 材料与方法

1.1 试验地概况

本试验于 2018 年 5—10 月在宁夏海原县台乡大嘴村(105°09′~106°10′E, 36°06′~37°04′N)进行。该试验地位于干旱半干旱带,海拔 2 133 m,年总降水量 408 mm,无霜期为 149~171 d,年均气温 8℃,试验期间的气象资料如图 1 所示。试验地土壤类型为侵蚀黑垆土,耕层土壤基本性状为:有机质 8.29 g·kg⁻¹,全氮质量分数 0.76 g·kg⁻¹,碱解氮质量分数 64.91 mg·kg⁻¹,速效磷质量分数 6.28 mg·kg⁻¹,速效钾质量分数 326.36 mg·kg⁻¹,pH 8.22。

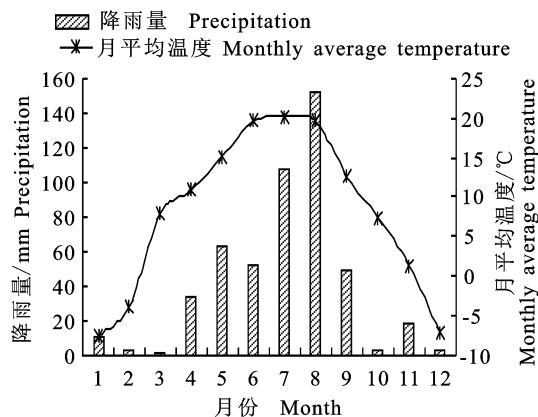


图 1 作物生育期内的月降雨量和平均气温

Fig. 1 Monthly precipitation and average temperatures during the growing period of the crop

1.2 试验方法

1.2.1 试验材料 马铃薯品种为‘青薯 9 号’,燕麦品种为‘燕科 1 号’。

1.2.2 试验设计 本试验于 2018 年 5—10 月在宁夏海原县大嘴村进行。试验采用裂区试验设计,主处理为施氮量,设置 0、75、150、225 kg·hm⁻² 4 个施氮水平,分别标记为 N0、N1、N2、N3;副处理为种植方式,分别为马铃薯单作(IP)和马铃薯燕麦间作(JP),各处理均设置 3 次重复,小区长 6 m,宽 6 m,面积为 36 m²。单作马铃薯种 12 行,垄宽 60 cm,垄距 40 cm,株距 40 cm,种植深度 20~25 cm,种植密度 3 335 株·667m⁻²,单垄双行半覆膜呈“S”形种植。间作(马铃薯与燕麦行数比 4:2)种 3 带,马铃薯燕麦间距为 30 cm,其他设计参数同单作保持一致。

田间试验于 5 月 12 日播种马铃薯,马铃薯起垄覆膜种植,同期播种燕麦,燕麦条播。结合整地

各处理施底肥 70%氮肥(尿素)、磷肥(过磷酸钙 90 kg·hm⁻²)、钾肥(硫酸钾 45 kg·hm⁻²),其余 30%氮肥于马铃薯现蕾期追施,追施时在下雨天对马铃薯进行穴施,燕麦不追肥。马铃薯于 10 月初收获,燕麦于 9 月底收获,其他管理同大田生产。

1.3 测定项目及方法

1.3.1 干物质量的测定 分别于马铃薯各生育时期,苗期(6 月 22 日)、开花期(7 月 10 日)、块茎形成期(7 月 24 日)、块茎膨大期(8 月 5 号)及成熟期(8 月 19 日)取样测定。每次取样时选择长势基本一致的植株,间作马铃薯在间作行取样,样品带回实验室,首先冲洗根系与块茎上粘附的泥土,然后按照不同器官(地上茎、叶、块茎)剪开,再用水分别冲洗干净,用滤纸吸干后,立即分别称量(鲜质量);将各器官剪成小段,无损失放入档案袋中,置于烘箱,首先在 105℃下杀青 30 min,然后将温度降至 80℃,烘干至恒量,冷却,称干质量。

1.3.2 产量的测定 收获前,在每个小区内随机选取 10 株马铃薯,剔除病薯、畸形薯后分别测定每穴薯质量、每穴个数、大薯数、中薯数和小薯数(大、中、小薯标准为:大薯>150 g,150 g>中薯≥75 g,小薯<75 g),计算大中小薯率,收获时每小区选取两垄测定实产,换算小区产量以及公顷产量。

1.3.3 品质指标的测定 马铃薯品质指标(粗蛋白、淀粉、还原性糖、可溶性糖)的测定参照苟久兰^[19]的方法。

1.3.4 数据处理 用 Excel 2016 进行数据处理,SPSS 20.0 统计软件进行方差分析($P < 0.05$),用 R 进行主成分分析。

2 结果与分析

2.1 间作和施氮量对马铃薯干物质质量累积的影响

对马铃薯干物质质量累积进行 Logistic 方程模拟,方程的决定系数均为 0.990~0.998,该方程可以较好地描述马铃薯干物质质量累积过程。对 Logistic 方程进行分析,得到表 1 中马铃薯干物质累积特征参数。对表 1 中方程参数进行分析表明,随着施氮量的增加, a 表现为上升趋势, b 、 c 都表现为先上升后降低的趋势,间作的生长速率明显高于单作,各处理下生长速率均表现为 N2>N3>N1>N0。进一步分析得出,与对照相比,单

作施氮处理下 $T_{\max}$ 具体表现为先增加后降低,而后随之又缓慢升高,间作下表现为先上升后降低的趋势;与对照相比,单作施氮下 $W_{\max}$ 趋势与 $T_{\max}$ 一致,间作下 $W_{\max}$ 呈上升趋势;干物质活跃积累时间表现为 $N0 > N3 > N1 > N2$,单作施氮处理下 $G_{\max}$ 呈现为先上升后降低的趋势,间作下呈现上升趋势;与不施氮处理相比,单作下随施氮量增加干物质质量积累最大速率分别增加 17.26%、27.41%、26.14%,间作下随施氮量增加干物质质量积累最大速率分别增加 10.38%、33.69%、41.10%。与不施氮处理相比较,单作模式下干物

质活跃积累时间随施氮量分别降低 57.44%、85.09%、31.92%,干物质积累速率最大时生长量分别增加 84.75%、8.41%、50.43%;间作模式下干物质活跃积累时间随施氮量分别降低 7.04%、16.9%、15.50%,干物质积累速率最大时生长量分别增加 18.28%、22.57%、30.96%。综上,可以看出间作下干物质质量积累速率高于单作,施氮对间作系统干物质质量积累速率贡献程度明显高于单作,施用氮肥对马铃薯干物质质量的积累有促进作用。

表 1 种植模式和施氮量处理下马铃薯干物质积累特征参数

Table 1 Characteristics of dry matter accumulation in potato under different planting patterns and nitrogen application amounts

处 理 Treatment	Logistic 模型: $y = a/[1 + b * \exp(-c * x)]$							
	方程参数 Equation parameter			相关系数(R^2) Correlation coefficient (R^2)	干物质积累参数 Dry matter accumulation parameter			
	a	b	c		$T_{\max}/d$	$W_{\max}/(g \cdot \text{株}^{-1})$	$G_{\max}/(g \cdot \text{株}^{-1})$	p/d
N0 IP	212.93	164.54	0.047	0.997	85.62	106.47	3.94	127.66
N0 JP	248.21	103.07	0.071	0.990	60.99	124.11	4.72	84.51
N1 IP	219.88	260.23	0.061	0.998	113.62	196.70	4.62	81.08
N1 JP	293.60	365.20	0.076	0.995	83.10	146.80	5.21	78.95
N2 IP	230.85	161.60	0.087	0.998	58.45	115.43	5.02	68.97
N2 JP	304.24	165.99	0.083	0.997	61.59	152.12	6.31	72.29
N3 IP	321.11	138.18	0.062	0.994	97.97	160.17	4.97	96.77
N3 JP	320.33	131.49	0.082	0.995	59.50	162.54	6.66	73.17

注: a . 终极生长量; b . 初始参数; c . 生长速率参数; $T_{\max}$. 达到最大干物质积累速率的时间; $W_{\max}$. 干物质积累速率最大时的生长量; $G_{\max}$. 干物质积累最大速率; p/d . 干物质活跃积累天数(大约完成总积累量的 90%)。

Notes a . Ultimate growth amount; b . Initial parameter; c . Growth rate parameter; $T_{\max}$. Number of days to reach the maximum dry matter accumulation rate; $W_{\max}$. Growth amount when the dry matter accumulation rate is maximum; $G_{\max}$. Maximum rate of dry matter accumulation; p/d . Dry matter active accumulation day number(about 90% of the total accumulated amount).

2.2 种植模式和施氮量对马铃薯产量的影响

图 2 为种植模式和施氮量下马铃薯产量回归模拟曲线,由图可以看出,同一种植模式下,马铃薯产量随着施氮量的增加呈现先增加后降低的趋势,施氮处理明显高于对照,各施氮处理下间作产量高于单作,施氮 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 间作处理下产量最高,对一元二次方程进行求导,单作: $y = -0.1315x^2 + 37.238x + 30238$,间作: $y = -0.3579x^2 + 110.29x + 26178$,得到极值 $x_{\text{单作}} = 141.60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, $x_{\text{间作}} = 154.08 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, $y_{\text{单作}} = 32837.41 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$, $y_{\text{间作}} = 34674.700 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$,表明当单作和间作施氮量分别为 $141.60 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $154.08 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,产量达到最大值,最大产量分别为 $32837.41 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $34674.7 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 。

2.3 种植模式和施氮量对马铃薯品质的影响

表 2 为成熟期种植模式和施氮量对马铃薯品质的影响,由表 2 可以看出,间作模式下粗蛋白含量大于单作,单作模式下,粗蛋白含量随施氮量的增加而呈现递增的趋势,在 $N3$ 水平下达到最大且与对照差异显著, $N1$ 、 $N3$ 分别较对照增加 6.43%、30.17%,间作模式下粗蛋白含量随施氮量的增加呈现先增加后降低的趋势, $N1$ 、 $N2$ 分别较对照增加 12.5%、35.27%,各处理施氮水平间差异显著($P < 0.05$)。同一种植模式下,还原糖含量均表现为先增加后降低的趋势,间作模式下高于单作;与对照相比,单作模式下, $N2$ 、 $N3$ 处理下还原糖含量增加 1.15%和 0.77%,各施氮处理间差异不显著($P > 0.05$),间作模式下,各施氮处理还原糖含量增加 4.26%、2.71%、1.16%,各处

理施氮水平和两者间的交互作用差异显著;淀粉含量总体上呈现先上升后下降的趋势,各处理施氮水平间差异显著,间作模式下略高于单作,且不同模式下以 N2 水平下含量最高。单作下,N2、N3 水平下淀粉含量与对照差异显著;间作下,各施氮处理淀粉含量较对照增加 0.53%、49.13%、26.85%,N2 处理与其他施氮处理间差异显著。同一种植模式下,可溶性糖含量均随着施氮量的

增加而增加;与对照相比,单作模式下,施氮处理分别增加 9.52%、14.29%、19.04%,间作模式下,施氮处理分别增加 11.54%、7.69%、3.85%,间作模式下可溶性糖增加幅度小于单作,施氮处理间差异显著,种植模式及两者间的交互作用均达到显著水平。总体来看,间作施氮处理下马铃薯各品质指标要优于单作施氮处理。整个生育期,施氮对马铃薯品质指标的影响大于间作。

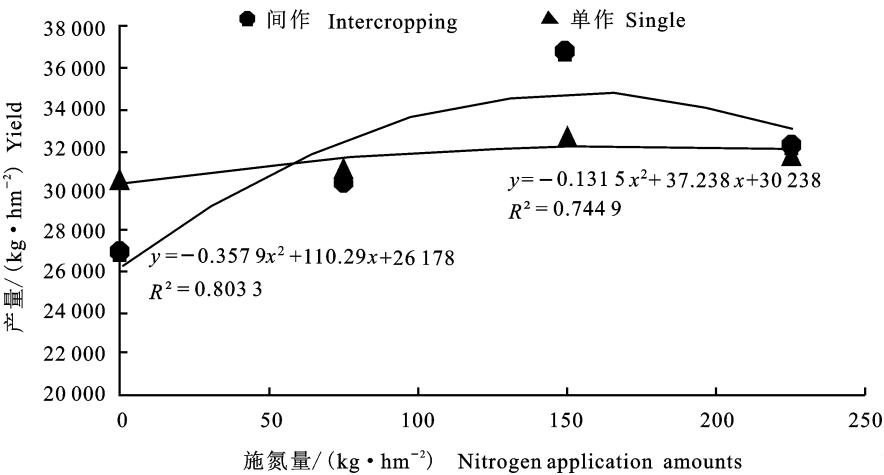


图 2 不同种植模式和施氮量下马铃薯产量回归曲线模拟

Fig.2 Simulation of regression curve of potato yield under different planting pattern and nitrogen application amounts

表 2 施氮量和种植模式处理下马铃薯品质($\bar{x} \pm s$)

Table 2 Potato quality under different nitrogen application amounts and planting pattern

种植模式 Cropping pattern	施氮水平 Nitrogen level	粗蛋白/% Crude protein	还原性糖/% Reducing sugar	淀粉/% Starch	可溶性糖/% Soluble sugar
单作 Single	N0	81.67±6.15 cd	2.60±0.01 bc	30.46±1.77 c	0.021±0.001 a
	N1	86.92±3.25 bcd	2.53±0.02 c	30.23±7.28 c	0.023±0.003 a
	N2	77.29±8.97 cd	2.63±0.01 ab	41.34±1.69 ab	0.024±0.004 a
	N3	106.31±6.31 ab	2.62±0.03 ab	40.38±2.57 b	0.025±0.001 a
间作 Intercropping	N0	85.17±3.59 cd	2.58±0.01 bc	30.17±2.58 c	0.026±0.002 a
	N1	95.82±2.45 abc	2.69±0.02 a	30.33±1.77 c	0.029±0.001 a
	N2	115.21±7.60 a	2.65±0.03 ab	45.23±2.09 a	0.028±0.003 a
	N3	72.04±4.93 d	2.61±0.03 b	38.27±3.43 bc	0.027±0.002 a
变异来源 Source					
施氮水平 Nitrogen application level		*	NS	*	*
种植模式 Cropping pattern		NS	*	NS	NS
施氮水平×种植模式 Nitrogen application level × Cropping pattern		NS	**	NS	NS

注: NS 表示差异不显著, * 和 ** 分别表示达到 5% 和 1% 的显著水平。同一列不同字母表示差异性显著($P<0.05$)。
Note: NS refers to not-significant, * and ** refer to significant level at 5% and 1%, respectively. Different letters in the same column indicate significant differences($P<0.05$).

2.4 产量及品质指标的主成分分析

为探究种植模式及施氮处理下马铃薯产量差异的品质因素,对产量及品质指标进行主成分分析。由图 3、表 3 可以看出,第一主成分排在前两位的是粗蛋白和还原性糖,第二主成分排在前两位的是可溶性糖和淀粉。表 3 中品质指标粗蛋白、还原性糖、淀粉对产量的贡献率分别达到 39.78%、25.45%、18.01%,累积最高可达到 83.23%。由表 4 可以得出,施氮量对马铃薯粗蛋白、淀粉、可溶性糖、还原性糖的影响较大,为能够更直接反应种植模式和施氮量对马铃薯产量的影响,构造综合评价指数: $F_{综}=0.42X_1+0.29X_2+0.19X_3+0.14X_4$,表 5 对 8 个处理下的马铃薯产量主成分值和综合值分析得出,间作模式下综合值高于单作模式,间作模式下,N1、N2、N3 处理下的主成分值较高且综合值也较高,表现为 $N2>N1>N3$,N0 处理下的主成分值较低,说明施氮对马铃薯的品质具有显著影响;单作模式下,各处理主成分值和综合值均低于间作,第一、二、三主成分

值均较低,N2 处理下略高于其他处理,综合得出,间作施氮处理优于单作施氮,间作对马铃薯产量的贡献大于施氮量,且间作施氮 $150\text{ kg}\cdot\text{hm}^{-2}$ 处理下最优。

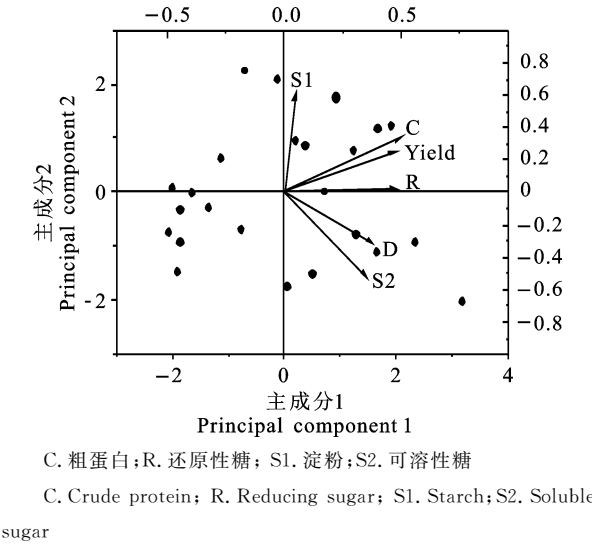


图 3 产量与干物质及品质指标之间的主成分分析
Fig. 3 Principal component analysis between yield and dry matter and quality indicators

表 3 各成分的特征值、方差及累积贡献率

指标 Index	特征值 Eigenvalues	方差贡献率/% Variance contribution rate	累积贡献率/% Cumulative contribution rate
粗蛋白 Crude protein	1.99	39.78	39.78
还原性糖 Reducing sugar	1.27	25.45	65.22
淀粉 Starch	0.9	18.01	83.23
可溶性糖 Soluble sugar	0.58	11.55	94.78
产量 Yield	0.26	5.22	100.00

表 4 特征向量矩阵

指标 Index	PC1	PC2	PC3	PC4
产量 Yield	0.493 95	−0.107 05	0.391 65	−0.438 48
粗蛋白 Crude protein	0.523 90	−0.334 24	−0.057 45	0.426 30
淀粉 Starch	0.330 66	0.309 08	0.597 42	0.447 21
还原性糖 Reducing sugar	0.428 66	0.076 47	−0.671 07	0.246 25
可溶性糖 Soluble sugar	0.418 20	0.435 50	−0.185 93	0.236 22

注:PC1、PC2、PC3、PC4 分别为第一主成分、第二主成分、第三主成分和第四主成分。下同。
Note:PC1, PC2, PC3, and PC4 are the first principal component, the second principal component, the third principal component, and the fourth principal component, respectively. The same below.

3 讨论

3.1 种植模式和施氮对马铃薯干物质积累的影响
同化产物的积累和分配决定马铃薯产量的形

成,氮素可平衡马铃薯干物质在各生育时期、各器官的分布^[20-22]。马铃薯库源界限明显,其生长发育受到源库关系的限制^[23]。玉米间作大豆施氮研究表明^[24],施氮对玉米干物质质量的累积作用大

表 5 各处理下马铃薯各主成分值与综合排名

Table 5 Main component values and comprehensive ranking of potato under each treatment

处 理 Treatment	PC1	PC2	PC3	PC4	综合值 Comprehensive ranking
N2 JP	1.39	2.08	0.77	−0.30	1.29
N1 JP	3.65	−1.14	0.20	0.05	1.25
N3 JP	0.38	−0.51	0.73	0.75	0.25
N0 JP	0.19	1.19	−1.49	−0.27	0.10
N2 IP	0.23	−0.72	−1.09	0.16	−0.30
N3 IP	−1.98	0.94	0.52	0.22	−0.43
N1 IP	−2.30	−0.57	−0.08	0.76	−1.04
N0 IP	−1.56	−1.26	0.44	−1.37	−1.13

注:设变量产量、叶绿素、粗蛋白、淀粉、还原性糖、可溶性糖的标准化后的数据依次为 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 ,进行产量综合评价,选取 4 个主成分,构造综合评价指数: $F_{综}=0.42X_1+0.29X_2+0.19X_3+0.14X_4$ 。

Note:Normalized data of variable yield, dry matter, chlorophyll, crude protein, starch, reducing sugar and soluble sugar are X_1 , X_2 , X_3 , X_4 , X_5 , X_6 and comprehensive evaluation of yield is designed. Four main masters are selected. composition, structural comprehensive evaluation index: $F_{comprehensive}=0.42X_1+0.29X_2+0.19X_3+0.14X_4$.

于间作模式。研究表明^[25],干物质积累奠定了马铃薯产量形成的物质基础,不同栽培模式下干物质量分配方向决定块茎产量高低。秦亚洲等^[26]研究表明间作下干物质量在两者间作共生期最低。研究表明,马铃薯干物质分配随生长点的转移而变化,块茎形成期之前主要以茎叶生长为主,之后则主要以块茎生长为主^[27]。本研究表明,干物质量积累过程符合由快、慢、快的 Logistic 曲线规律,这与大多数研究结果一致。本研究也表明,同一种植模式下,干物质量累积均随着施氮量的增加先缓慢升高后迅速上升至趋于稳定,施氮处理下的干物质积累最大值高于不施氮处理,这主要可能是由于施氮可以促进马铃薯干物质的有效分配,现蕾期追施氮肥后,有利于干物质向块茎的转移,干物质有效分配比率增大,同时施氮可以协调各器官的生长发育源、库、流平衡,利于同化产物的积累,这与王弘等^[28]的研究结果一致。本试验表明,干物质积累最大速率、干物质积累速率最大时的生长量均表现为随施氮量的增加先增加后降低,间作模式下高于单作,可能是由于施氮会促进马铃薯叶面积、茎叶等营养器官的建成,增强光合能力,促进同化物质的运输和转移,间作系统中两种作物活跃了土壤微生物,增强了对养分资源的利用,也可能由于两者间对养分资源竞争性吸收作用所致。达到最大干物质积累速率的时间,单作施氮处理高于间作,这与何万春等^[29]在旱地覆膜马铃薯的研究结果不一致,究其原因可能是由于马铃薯、燕麦均为 C3 作物,间作下对光能利

用率强,间作复合系统自我调节能力强,缩短了干物质积累时间。

3.2 种植模式和施氮对马铃薯产量及品质的影响

合理施氮是维持作物产量和品质的重要措施之一。研究表明^[30],马铃薯间作向日葵能提高其产量,表现一定的间作优势。本试验中对产量分析表明,间作马铃薯产量略高于单作且施氮处理高于不施氮,表现出间作优势;粗蛋白、淀粉对马铃薯产量的影响较大,最佳施氮量为 150 ~ 154.08 kg · hm^{−2}。粗蛋白含量、还原糖含量等指标是评判马铃薯品质高低的重要依据^[31]。研究表明^[32-33],施肥可以提高马铃薯的淀粉含量、粗蛋白含量,降低可溶性糖的含量,间作处理下淀粉含量显著高于单作处理。前人研究表明^[34],薯豆间作施氮能增加马铃薯粗蛋白含量,显著降低还原糖含量。马铃薯和蚕豆间作研究表明^[35],可以通过改善间作作物的微环境循环,进而影响作物品质的变化。本试验结果表明,间作模式下马铃薯粗蛋白、淀粉、还原性糖、可溶性糖略高于单作,淀粉、还原性糖随施氮量的增加均先上升后降低,这与李帅兵^[36]的研究结果基本一致。粗蛋白和可溶性糖随施氮量的增加呈现上升趋势,施氮对品质的影响要高于种植模式,这与曹哲^[37]的研究也一致,这主要可能是由于前期施氮有利于马铃薯碳水化合物的形成,后期燕麦提前收获带走土壤中部分氮素,导致土壤肥力下降供肥不足,品质下降,也可能是由于间作模式下马铃薯对氮素的吸收能力强于燕麦,两者改善了间作土壤微环境,

从而利于品质形成。

4 结 论

结果表明,与不施氮处理相比,马铃薯燕麦间作施氮在干物质累积速率、产量及营养品质方面优于单作,粗蛋白、淀粉对马铃薯产量的影响较大,以间作施氮 $150 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 和 $225 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 处理最佳;通过产量拟合曲线发现,该区间作施氮 $154.08 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 时,马铃薯获得最大产量,氮素施用过高,则会导致马铃薯减产,间作马铃薯施氮量在 $150 \sim 154.08 \text{ kg} \cdot \text{hm}^{-2}$ 之间为宜。

参考文献 Reference:

- [1] 宁堂原,焦念元,安艳艳,等. 间套作资源集约利用及对产量品质影响研究进展[J]. 中国农学通报, 2007, 23(4): 159-163.
NING T Y, JIAO N Y, AN Y Y, *et al.* Research progress on intensive utilization of intercropping resources and its influence on yield and quality[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 23(4): 159-163.
- [2] 刘巽浩,陈 阜,吴 尧. 多熟种植—中国农业的中流砥柱[J]. 作物杂志, 2015(6): 1-9.
LIU X H, CHEN F, WU Y. Multi-cropping planting—the mainstay of Chinese agriculture[J]. *Crops*, 2015(6): 1-9.
- [3] 黄高宝. 集约栽培条件下间套作的光能利用理论发展及其应用[J]. 作物学报, 1999(1): 16-24.
HUANG G B. Development and application of light energy utilization theory under intercropping conditions under intensive cultivation[J]. *Journal of Crop Science*, 1999(1): 16-24.
- [4] 陈小强. 间作种植模式对云南省中部坡耕地水土流失的影响[D]. 昆明: 云南农业大学, 2015.
CHEN X Q. Effect of intercropping planting pattern on soil erosion in central slope of Yunnan province[D]. Kunming: Yunnan Agricultural University, 2015.
- [5] 肖靖秀,郑 毅. 间套作系统中作物的养分吸收利用与病虫害控制[J]. 中国农学通报, 2005, 21(3): 150-156.
XIAO J X, ZHENG Y. Nutrient absorption and utilization of crops in intercropping system and control of pests and diseases[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2005, 21(3): 150-156.
- [6] 肖焱波,段宗颜,金 航,等. 小麦/蚕豆间作体系中的氮节约效应及产量优势[J]. 植物营养与肥料学报, 2007, 13(2): 267-271.
XIAO Y B, DUAN Z Y, JIN H, *et al.* Nitrogen saving effect and yield advantage in wheat/faba bean intercropping system[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2007, 13(2): 267-271.
- [7] 高砚亮,孙占祥,白 伟,等. 辽西半干旱区玉米与花生间作对土地生产力和水分利用效率的影响[J]. 中国农业科学, 2017, 50(19): 3702-3713.
GAO Y L, SUN ZH X, BAI W, *et al.* Effects of intercropping of maize and peanut on land productivity and water use efficiency in semi-arid region of western Liaoning[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2017, 50(19): 3702-3713.
- [8] GHOSH P K. Interspecific interaction and nutrient use in soybean/sorghum intercropping system [J]. *Agronomy Journal*, 2006, 98(4): 1097-1108.
- [9] 刘 利,李秀杰,韩 真,等. 植物中氮素感知和信号的研究进展[J]. 植物生理学报, 2018, 54(10): 1535-1545.
LIU L, LI X J, HAN ZH, *et al.* Research progress in nitrogen perception and signals in plants[J]. *Journal of Plant Physiology*, 2018, 54(10): 1535-1545.
- [10] ZHAO H X, BIAN SH F, PENG T T, *et al.* Effects of nitrogen fertilizer application on nitrogen dynamics and nitrogen fertilizer utilization in maize[J]. *Agricultural Science & Technology*, 2013, 14(12): 1797-1803.
- [11] 蒋志敏,王 威,储成才. 植物氮高效利用研究进展和展望[J]. 生命科学, 2018, 30(10): 1060-1071.
JIANG ZH M, WANG W, CHU CH C. Research progress and prospect of plant nitrogen efficient utilization[J]. *Life Science*, 2018, 30(10): 1060-1071.
- [12] 张丽娟,巨晓棠,张福锁,等. 土壤剖面不同层次标记硝态氮的运移及其后效[J]. 中国农业科学, 2007(9): 1964-1972.
ZHANG L J, JU X T, ZHANG F S, *et al.* The migration and subsequent effects of labeled nitrate nitrogen in different layers of soil profile[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2007(9): 1964-1972.
- [13] 朱兆良,孙 波,杨林章,等. 我国农业面源污染的控制政策和措施[J]. 科技导报, 2005(4): 47-51.
ZHU ZH L, SUN B, YANG L ZH, *et al.* Control policies and measures for agricultural non-point source pollution in China [J]. *Science and Technology Review*, 2005 (4): 47-51.
- [14] 巨晓棠,谷保静. 我国农田氮肥施用现状、问题及趋势[J]. 植物营养与肥料学报, 2014, 20(4): 783-795.
JU X T, GU B J. Current status, problems and trends of nitrogen fertilizer application in farmland in China[J]. *Journal of Plant Nutrition and Fertilizer*, 2014, 20(4): 783-795.
- [15] 李 洋,张俊莲,白江平,等. 马铃薯软腐病菌 *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* 714 种胞外酶基因的克隆和原核表达分析[J]. 草业科学, 2014, 31(4): 561-574.
LI Y, ZHANG J L, BAI J P, *et al.* Cloning and prokaryotic expression analysis of 714 extracellular enzyme genes of potato soft rot fungus *Erwinia carotovora* subsp. *carotovora* [J]. *Pratacultural Science*, 2014, 31(4): 561-574.
- [16] 张久盘,穆兰海,杜燕萍,等. 宁南山区不同裸燕麦品种产量与品质比较研究[J]. 现代农业科技, 2018(3): 44-46.
ZHANG J P, MU L H, DU Y P, *et al.* Comparative study on yield and quality of different naked oat varieties in Ningnan mountainous area[J]. *Modern Agriculture Technology*, 2018(3): 44-46.
- [17] 吴 娜,杨娜娜,刘吉利,等. 马铃薯燕麦对马铃薯氮、磷、钾含量及营养品质的影响[J]. 草业科学, 2017, 34(3): 592-597.
WU N, YANG N N, LIU J L, *et al.* Effects of potato oats on nitrogen, phosphorus and potassium contents and nutritional quality of potato[J]. *Pratacultural Science*, 2017, 34(3): 592-597.
- [18] 吴 娜,刘晓侠,刘吉利,等. 马铃薯/燕麦间作对马铃薯光合特性与产量的影响[J]. 草业学报, 2015, 24(8): 65-72.
WU N, LIU X X, LIU J L, *et al.* Effects of potato/oat intercropping on photosynthetic characteristics and yield of

- potato[J]. *Acta Prataculturae Sinica*, 2015, 24(8): 65-72.
- [19] 苟久兰. 种植模式和氮肥形态对马铃薯的影响[A]//贵州省土壤学会. 贵州省土壤学会 2012 年学术研讨会论文集[C]. 贵阳: 贵州省科学技术协会, 2012: 8.
- GOU J L. Effects of planting patterns and nitrogen fertilizer forms on potato[A]//Guizhou Soil Society. Proceedings of the 2012 Soil Symposium of Guizhou Soil Society[C]. Guiyang: Guizhou Science and Technology Association, 2012: 8.
- [20] 高聚林, 刘克礼, 盛晋华, 等. 马铃薯旱作栽培干物质积累与分配[J]. 中国马铃薯, 2004(1): 9-15.
- GAO J L, LIU K L, SHENG J H, *et al.* Dry matter accumulation and distribution of potato cultivation in dry cultivation[J]. *Chinese Potato Journal*, 2004(1): 9-15.
- [21] 夏锦慧. 马铃薯“大西洋”干物质积累及氮、磷、钾营养特征研究[J]. 西北农业学报, 2009, 18(4): 267-271, 314.
- XIA J H. Study on dry matter accumulation and nitrogen, phosphorus and potassium nutrition characteristics of potato “Atlantic”[J]. *Acta Agriculturae Boreali-occidentalis Sinica*, 2009, 18(4): 267-271, 314.
- [22] 杨瑞平, 张 胜, 高 翔, 等. 羊厩肥与氮磷化肥配施对马铃薯干物质积累及产量的影响[J]. 内蒙古农业大学学报(自然科学版), 2011, 32(1): 63-67.
- YANG R P, ZHANG SH, GAO X, *et al.* Effects of combined application of sheep manure and nitrogen and phosphorus fertilizers on dry matter accumulation and yield of potato[J]. *Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Natural Science Edition)*, 2011, 32(1): 63-67.
- [23] 孙 芳. 马铃薯源、库关系的营养调控技术研究现状与展望[J]. 内蒙古农业科技, 2009(2): 20-24.
- SUN F. Research status and prospects of nutritional regulation techniques of potato source and library relationship [J]. *Inner Mongolia Agricultural Science and Technology*, 2009(2): 20-24.
- [24] 王晓维, 杨文亨, 缪建群, 等. 玉米-大豆间作和施氮对玉米产量及农艺性状的影响[J]. 生态学报, 2014, 34(18): 5275-5282.
- WANG X W, YANG W T, LIAO J Q, *et al.* Effects of maize-soybean intercropping and nitrogen application on maize yield and agronomic traits[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(18): 5275-5282.
- [25] 杨相昆, 魏建军, 张占琴, 等. 不同栽培措施对马铃薯干物质积累与分配的影响[J]. 作物杂志, 2012(4): 130-133.
- YANG X K, WEI J J, ZHANG ZH Q, *et al.* Effects of different cultivation measures on dry matter accumulation and distribution of potato[J]. *Crops*, 2012(4): 130-133.
- [26] 秦亚洲, 王利立, 柴 强, 等. 大麦间作豌豆的种间竞争能力对施氮量的响应[J]. 农业现代化研究, 2015, 36(3): 482-487.
- QIN Y ZH, WANG L L, CHAI Q, *et al.* The response of interspecific competitiveness and yield of barley intercropped pea to nitrogen application[J]. *Research of Agricultural Modernization*, 2015, 36(3): 482-487.
- [27] 卢建武, 邱慧珍, 张文明, 等. 半干旱雨养农业区马铃薯干物质和钾素积累与分配特性[J]. 应用生态学报, 2013, 24(2): 423-430.
- LU J W, QIN H ZH, ZHANG W M, *et al.* Accumulation and distribution of dry matter and potassium in potato in semi-arid rain-fed agriculture area[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2013, 24(2): 423-430.
- [28] 王 弘, 孙 磊, 梁 杰, 等. 氮肥基追比例及追施时期对马铃薯干物质积累分配及产量的影响[J]. 中国农学通报, 2014, 30(24): 224-230.
- WANG H, SUN L, LIANG J, *et al.* Effects of nitrogen fertilizer base and topdressing stage on dry matter accumulation, distribution and yield of potato[J]. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2014, 30(24): 224-230.
- [29] 何万春, 何昌福, 邱慧珍, 等. 不同氮水平对旱地覆膜马铃薯干物质积累与分配的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(4): 175-182.
- HE W CH, HE CH F, QIU H ZH, *et al.* Effects of different nitrogen levels on dry matter accumulation and distribution of mulched potato in dryland[J]. *Agricultural Research in the Arid Areas*, 2016, 34(4): 175-182.
- [30] 郝 娜, 武志海, 张立祯, 等. 向日葵与蚕豆和马铃薯间作对作物产量和水分利用效率的影响[J]. 吉林农业大学学报, 2018, 40(6): 666-674.
- HAO N, WU ZH H, ZHANG L ZH, *et al.* Effects of intercropping of sunflower and broad bean and potato on crop yield and water use efficiency[J]. *Journal of Jilin Agricultural University*, 2018, 40(6): 666-674.
- [31] LI L, ZHANG F, LI X, *et al.* Interspecific facilitation of nutrient uptake by intercropped maize and faba bean[J]. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 2003, 65(1): 61-71.
- [32] 吴晓红, 曾路生, 李俊良, 等. 膜下滴灌不同施肥处理对马铃薯产量和品质及肥料利用率的影响[J]. 华北农学报, 2016, 31(5): 193-198.
- WU X H, ZENG L SH, LI J L, *et al.* Effects of different fertilization treatments on potato yield, quality and fertilizer utilization rate under drip irrigation[J]. *Acta Agriculturae Boreali-Sinica*, 2016, 31(5): 193-198.
- [33] 何天久, 李其义, 吴巧玉, 等. 氮磷钾对马铃薯产量和品质影响的研究进展[J]. 黑龙江农业科学, 2014(9): 140-144.
- HE T J, LI Q Y, WU Q Y, *et al.* Research progress of the effects of nitrogen, phosphorus and potassium on potato yield and quality[J]. *Heilongjiang Agricultural Sciences*, 2014(9): 140-144.
- [34] GOVINDEN, ARNASON N J T. The relative importance of competition for water and for light in intercropping of sugar cane with maize[J]. *Agricultural Water Management*, 1990, 17(1): 233-233.
- [35] 张美琴. 氮素形态与马铃薯品质的关系[D]. 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2008.
- ZHANG M Q. Relationship between nitrogen form and potato quality [D]. Hohhot: Inner Mongolia Agricultural University, 2008.
- [36] 李帅兵. 氮素对马铃薯生长发育、产量及营养品质的影响[D]. 哈尔滨: 东北农业大学, 2017.
- LI SH B. Effects of nitrogen on growth, yield and nutrient quality of potato[D]. Harbin: Northeast Agricultural University, 2017.
- [37] 曹 哲. 雨养区氮钾肥对马铃薯产量和品质的影响[D]. 银川: 宁夏大学, 2017.
- CAO ZH. Effects of nitrogen and potassium fertilizers on potato yield and quality in rainfed areas [D]. Yinchuan: Ningxia University, 2017.

Effects of Nitrogen Application and Potato-Oats Intercropping on Dry Matter Accumulation, Yield and Quality of Potato

CAI Ming¹, LIU Jili², YANG Yaya¹, WU Na¹, HE Haifeng¹ and HE Jinhong¹

(1. College of Agriculture, Ningxia University, Yinchuan 750021, China;

2. College of Resources and Environment, Ningxia University, Yinchuan 750021, China)

Abstract Based on low yield caused by potato continuous cropping obstacles and the contradiction of land use and soil improvement in mountainous area of Ningnan, four nitrogen levels of 0, 75, 150, 225 kg · hm⁻² and two planting patterns of single cropping and intercropping were conducted to study the effects of intercropping and nitrogen application on the dry matter accumulation parameters, yield and quality of potato, which provided a certain theoretical basis and technical support for improving the yield of intercropping system. The results showed that the maximum rate of dry matter accumulation with nitrogen application increased by 17.26%, 27.41% and 26.14% in single respectively, and by 10.38%, 33.69% and 41.10% respectively in intercropping, compared with non-nitrogen treatment. The days of dry matter active accumulation with nitrogen application decreased by 57.44%, 85.09% and 31.92%, and the dry matter maximum accumulation rate increased by 84.75%, 8.41% and 50.43%, however, under the intercropping mode, the days of dry matter active accumulation with decrease of nitrogen application by 7.04%, 16.9% and 15.50%, and the growth amount increased by 18.28%, 22.57% and 30.96%. Intercropping and nitrogen application with 150 kg · hm⁻² and 225 kg · hm⁻² were the best treatment, it significantly improved dry matter accumulation and yield. Based on yield simulation, the optimal nitrogen application rate for intercropped potato was 154.08 kg · hm⁻² and the theoretical yield could reach 34 674.7 kg · hm⁻² compared with (0 kg · hm⁻²) sugar content of potato increased by 4.26%, 2.71% and 1.16% with the increase of nitrogen application, and the starch content increased by 0.53%, 49.13% and 26.85%, respectively. The difference in crude protein content, starch content, and soluble sugar on nitrogen treatments was significant and the reducing sugar content showed significant interaction between nitrogen application and intercropping. The principal component analysis showed that the comprehensive value of intercropping nitrogen was higher than that of single cropping and the highest under 150 kg · hm⁻² nitrogen treatment. The nitrogen application and potato-oats was better than that of single on dry matter accumulation, yield and nutritional quality and the nitrogen application of intercropping potato was prefer between 150 kg · hm⁻² and 154.08 kg · hm⁻².

Key words Nitrogen application amounts; Intercropping potato; Dry matter accumulation; Yield; Quality

Received 2019-05-26

Returned 2019-07-25

Foundation item The National Natural Science Foundation of China(No. 31660376); Postgraduate Innovation Project of Ningxia University(No. GIP2019008); Ningxia Natural Science Foundation(No. 2019AAC03063); National Science and Technology Support Project(No. 2015BAD22B01).

First author CAI Ming, male, master student. Research area: high-yield and high-quality cultivation of crops. E-mail: 975209658@qq.com

Corresponding author WU Na, female, Ph. D, professor. Research area: high-yield and high-quality cultivation of crops. E-mail: nawu2000@163.com

(责任编辑: 潘学燕 Responsible editor: PAN Xueyan)